

バイオフィォトンイメージングによる
疲労とストレスの評価に関する研究

2019 年

兵庫県立大学大学院環境人間学研究科

坪内 伸司

目 次

第1章 序論	1
第2章 研究の背景	4
第1節 ストレス	5
第1項 ストレスについて	5
第2項 ストレスと脳神経科学	7
第3項 ストレスと免疫	8
第4項 疲労と睡眠	9
第2節 バイオフィトン	11
第1項 バイオフィトンの基礎	11
第2項 バイオエレクトログラフイーの歴史	13
第3節 Gas Discharge Visualization	16
第3章 検査方法	17
第1節 GDV (Gas Discharge Visualization) 検査	18
第2節 secretory - Immunoglobulin A 検査	25
第3節 POMS (Profile of Mood States) 検査	29
第4節 身体活動量検査	31
第5節 統計解析	33
第4章 研究1	34
「バイオフィトンからみた生体内エネルギーの日内変動」	
第1節 緒言	35
第2節 方法	36
第1項 研究参加者	36
第2項 検査項目	36
第3項 分析方法	37
第4項 統計解析	38
第3節 結果	39
第1項 身体活動レベル	39
第2項 覚醒時のバイオフィトン日内変動	39
第3項 s-IgA の日内変動	41
第4項 エネルギーフィールド指標と s-IgA との相関関係	42

第4節 考察	43
第5節 結論	46
第5章 研究2	47
「バイオフィトンからみる運動時の生体内エネルギーに関する研究」	
第1節 緒言	48
第2節 方法	49
第1項 研究参加者	49
第2項 検査項目	49
第3項 分析方法	50
第4項 統計解析	51
第3節 結果	52
第1項 運動負荷強度	52
第2項 運動負荷時のバイオフィトン変動	53
第3項 運動負荷時の s-IgA 変動	55
第4項 エネルギーフィールド指標と s-IgA との相関関係	56
第5項 運動負荷時の POMS 指標変動	57
第4節 考察	59
第5節 結論	61
第6章 研究3	62
「バイオフィトンからみた長期低強度運動処方が体力におよぼす影響に関する研究」	
第1節 緒言	63
第2節 方法	65
第1項 研究参加者	65
第2項 検査項目	65
第3項 分析方法	66
第4項 統計解析	67
第3節 結果	68
第1項 至適歩走行速度に相当する心拍数レベルの設定	68
第2項 1日の消費エネルギー量	68
第3項 生理学的パラメータ	68
第4項 物理学的パラメータ	70
第5項 生理学的パラメータと物理学的パラメータの関係	72
第4節 考察	73
第5節 結論	76

第7章 総合考察	77
第8章 結語	84
謝辞	87
引用文献	89

—第 1 章—
序 論

人口減少社会を迎えた我が国において、労働力不足への対応としての「働き方改革」の背景には、長時間労働の是正、多様な働き方の実現があり、働く人々のメンタルヘルスをいかにして維持向上させるかが重要視されている。グローバル社会、情報化社会へと人間の生活環境が多様に変化していく現代社会において、生活における強い不安や悩みなどのストレスから「心身」のバランスが崩れ、慢性的な疲労疾患、心身症など精神的および社会的な生活機能が低下し、さまざまな健康疾患を引き起こすことが問題となっている。ストレスに伴う心身の不調は、小学生から高齢者に至る多くの年齢階層で報告されており、これらへの対応が喫緊の課題として指摘されている^{1,2)}。

これまでに生体のストレス状態を把握する方法はいくつか報告されている³⁻¹¹⁾が、大きく主観的評価と客観的評価に分けることができる。主観的評価としては、心理面に着目した質問紙を用いた方法がある。一方、客観的評価には、血液や尿、唾液中の成分を分析する生化学的手法や生体信号を使った生理学的手法がある。生体信号を使った評価には、人間の自律神経の活動度をあらわす心拍変動指標や呼吸活動、発汗による皮膚電気活動などを用いた手法があり、種々の調査研究で活用されている。

ストレスに起因する心身の疾患を予防するためには、生体をホールボディとしてとらえ客観的に生体情報を把握することが重要視されている。生命の情報について検討する場合、既存の生物学や情報学の範疇を超えた現象に遭遇する。生体の情報プロセスと生体への作用については、未知なる要素がある。情報伝達経路としては、生化学的経路（物質要素）と物理経路（エネルギー要素）が存在している。特に物理経路については、量子生物学や量子情報科学の進歩により生命の新しい知見をもたらす可能性をもっている。

生体内エネルギーの変動は、環境の同調因子、つまり外因性あるいは環境変動と同調しない内因性により反映される。1936年 Selye¹²⁾は、「生体が外界から刺激を加えられたときに生じる反応：全身適応症候群」をストレスと定義した。生体はストレスが生じると交感神経－副腎髄質系と視床下部－下垂体－副腎皮質系の2つのストレス応答系の活動が高まりストレス対処能力を高めようと反応する。現在、ストレスを評価する方法は、問診や心理テスト等による主観評価検査、血圧や心拍などの電気生理学的検査、血液や唾液などの生体のストレス関連物質を計測する生化学検査がある。これらの検査は、客観性、非侵襲性、検査時間、解析時間など、まだまだ多くの課題が残されている。

自然界の生物は、生命活動に伴い極めて微弱な光を放射し命を営んでいる。この微弱な光は、近年の研究で検知された生命を意味するバイオ（bio）と光子を意味するフォトン（photon）を組み合わせバイオフィトンと名づけられた新しい生体光情報の概念である。バイオフィトンは、主に生体内での酸化的代謝過程における生体物質の化学的励起に起因するものであり、生物の生命活動や各種生理代謝作用に付随して励起発光分子が多くなり発光する。バイオフィトンの発光は、外部からの刺激や負荷を加えなくても生きており、ありのままの状態で見えているのが大きな特徴である。強度や波長分布、空間分布、他の生理パラメータとの相関などは、常に変化する生態系の生理・機能状態を反映し伝達す

る。バイオフィォンは、多種多様な生命システムの強さを伝える大切な光生体情報であり重要な指標として注目されている。

近年、極微弱な生物フォトン放射による光生体情報は、Korotkov¹³⁾により、Kirlian 効果の本質に基づき電磁界を利用して皮膚からの電子の誘発を生じさせ、電子を数千倍に加速させ自発性放出し、粒子と誘導性放出粒子の複合による発光現象を CCD カメラにより撮影できる GDV (Gas Discharge Visualization: 気体放電撮影機)が開発された。GDV は非侵襲的で、バイオフィォンイメージングの測定およびデータの蓄積が容易になった。そして、海外においては GDV によるバイオフィォンイメージングの研究¹³⁻³¹⁾が数多く行われるようになった。バイオフィォンの研究は、今世紀に入りようやく本格的な幕開けをしたところである。この微弱な光と生体の相互作用を生体光情報として解明が期待されている。日本においても、バイオフィォンによる生体反応の研究は緒についたばかりで研究報告³²⁻³⁵⁾は数少ない。

本研究では、人々にとってより望ましい生活環境、社会環境の創出を目的として、はじめに生体内で発生するバイオフィォンとこれまでに報告されている各種心理的・生理的指標の関係について明らかにすることとした。次に生体に発生する疲労やストレスの程度をバイオフィォンイメージングにより評価し得るかについても明らかにし、新たな視点から健康管理、健康支援や身体的环境適応能の評価について検討した。

－第 2 章－

研究の背景

第1節 ストレス

第1項 ストレスについて

1935年 Cannon¹⁾は、動物が生命の危機に瀕する危急場面に遭遇すると、生体の自律神経は興奮し、「闘争か、逃走か」のいずれにも対応できる身体状態となるストレスとアドレナリンの関係を明らかにし、医学領域の中で生き物のストレス反応について研究が行われるようになった。その後、1936年 Selye²⁾は、ストレスの概念を全身適応症候群として提唱した。

ストレスという言葉の語源は、もともと工学や物理学用語で、外から力が加えられたときに生ずる物体の歪みを意味している。Selye²⁾は、これを生体に当てはめて、生物学的ストレスとして、生き物に対するストレス研究が行われることになった。ストレスについては、概念的に生体に何らかの歪みを起こさせる刺激と、その結果生じる生体の変化という2つの要因を考える。この要因は次のように理解される。1つは、生体側の反応をストレスとし、その反応を引き起こした刺激はストレッサーとよばれて、ストレスとは厳密に区別される。ストレッサーは、何らかの刺激によって生体に生じる生理的なひずみと定義される。

現在は、ストレスとストレッサーが厳密に区別されているにもかかわらず、一般的にはストレッサーをストレスの同意語として日常的に使われている。したがってストレッサーであるにも関わらず、それをストレスとして表現されていることが多くみられる。

ストレスの概念について、特に人間を対象にする場合には、次のように区別する必要がある。生体に与えられる刺激をストレッサーとし、一方それに対して生じる一連の生体反応をストレスとし、厳密に区別することとする。生体に対するストレスを考えると、それが非特異的であるのか特異的であるのかが問題となる。ストレスは生体の非特異的反応と定義されているが、実際の生活の場面では、きわめて特異的なストレス反応と考えられることも多くみられる。このことから非特異的や特異的という解釈は、相対的な関係から導き出されるものであると理解されている。疲労とストレスを考える場合に、生体のストレス反応として生じる変化を理解しておく必要がある。ストレッサーにより生体に起こる消化管の潰瘍や胸腺・リンパ節の委縮、副腎皮質の肥大などの症状は同じであっても、ストレッサーの種類は異なる場合がある。つまり異なるストレッサーであっても反応は同じように起こってくる場合がある。このことからストレッサーは非特異的であるが、ストレス反応として起こる症状自体は、特異的といえる。これらの関連について田中ら³⁾は、Selye²⁾のコンディショニング説によって説明しており、内的条件づけと外的条件づけは、ストレッサーに対して反応する際の、身体感受性に影響を与える因子と説明している。つまり同じ刺激が加えられても、個体が異なると反応も異なることが多くその差を生じさ

せるのが、遺伝的因子や性、年齢などの内的条件づけと、ホルモンや薬物処置、大気汚染・社会的影響などの環境要因といった外的条件づけということになる。したがって、刺激は生体に対して特異的影響を及ぼすと同時に、ストレッサーとして非特異的影響も及ぼしており、その際、外的条件づけや内的条件づけによって最終的な生態の反応が決められることになる」と述べている。

次に特異的、非特異的に関して Selye²⁾の例を挙げて、生体のストレス反応の意味を考える上での共通理解としたい。メンタルヘルスにみられる生活上のさまざまな問題によって、前述した身体的な病状が直接的に引き起こされるのではなく、あくまでもストレスという共通の経路を通してさまざまな身体的病状が生じるということである。さらに Selye²⁾は、2種類のストレスを設定し説明をしている。1つは、快ストレス (eustress) でありもう一方は、不快ストレス (distress) である。快ストレスとは、私たちの身体にとって、健康を維持するための有益なストレスであり、不快ストレスは、逆に身体にとって健康の水準を低下させ病気を引き起こすような有害なストレスである。最近では、ストレスの概念が広義に捉えられることが多く、ストレスの概念が刺激に対する生体反応と規定されるなら、その刺激は、生体にとって有害なものだけでなく、有益なストレスもあつてよいと考えられるようになってきた。特にここで取り扱うヒトの疲労とストレスを考える場合には、必要な概念となる。Selye²⁾は、疲労や失敗といった不快なストレスを、成功や喜び充実という快ストレスに変換させる方法として、スポーツ、サウナ温泉、人との触れ合いを主眼とするレクリエーションなどが効果的であると述べている。しかしこの時点では、睡眠について触れてはいなかった。この理由として、この頃はまだ、行動学の研究対象に睡眠が含まれていなかったことによると考えられる。快と不快の関係は、そののちホルミシス理論によって説明は可能になった。つまり本来私たちにとって快である状況であっても、それが極端に強くなったり多くなったりすることで不快ストレスとなることがある。たとえば快ストレスとして行うスポーツ行動もあるレベルを超えて負荷となると、とたんに強い不快ストレスと変化することを理解しておく必要がある (逆 U 字理論)。

ストレスを考える上で、Selye²⁾の全身適応症候群は、Cannon¹⁾の説とともに重要であり、ストレスを引き起こすようなストレッサーが加えられたときの生体の反応を2つの視点より捉えるものである。1つは、臓器の変化がどのようなになるのかであり、もう一方は、ストレッサーが継続した時に、その経過とともに生体の反応がどのような経時的変化を示すのかである。反応の経過としては、田中ら³⁾によれば、第1は「警告反応」、第2は「抵抗期」、第3は「疲はい期」としている。疲はい期は、ストレッサーが長く続いて、それ以上生体がストレッサーにたえられなくなった時期を意味していると説明している。この時期を、Selye²⁾は全身適応症候群とよんでいる。この全身とよんだのには、次のような理由がある。全身というのは、反応が身体の一部に限らず広い範囲に及ぶことを指しているからである。適応というのは、それが生体にとっては、防衛という働きを持つことであり適応と維持に有益性があるからとしている。快適な睡眠によって、環境に対する適応

性が高まることが多く報告⁴⁻⁶⁾されており、疲はい期の睡眠改善は特に重要となると述べている。

第2項 ストレスと脳神経科学

疲労とストレスを考える場合は、中枢である脳についても考えておく必要がある。脳の中には、多くの神経細胞があり、そこには数多くの神経伝達物質が存在していることはよく知られている。たとえば、ノルアドレナリン、セロトニン、ドーパミン、アドレナリン等の活性アミン、アセチルコリン、 α -アミノ酪酸などが知られている。これらの神経伝達物質は、自律神経終末部や自律神経節あるいは脳内で作用することが知られている。最近の研究では、脳内に数多くの神経ペプチドが存在することも発見されている。神経科学や神経組織化学の著しい発達は、脳内の数多くの物質の存在を明らかにし、その構造の決定やそれに続く物質の化学合成を可能にした。神経科学領域の目覚ましい研究の発展にともない、ストレスが脳にどのような影響を及ぼすかについても明らかにされてきた。またその知見についての意義に関しても総合的な視点から論議されている。脳神経細胞の数が約140億個、1個の神経細胞に結合するシナプスの数が、数千から1万個と推定されているが、そのシナプスに関与する多くの神経伝達物質や神経調節物質さらに受容体について神経生理学の分野を中心に多くの知見が得られてきた。このように神経科学や神経生理学の発展は、脳の理解についてより深く真相に近づいてきたが、一方では、その理解を複雑化し、脳が脳を理解する上においてますます困難なものにしているといっても過言ではない。

ここでは、疲労とストレスを考える上で基本となるストレスと脳について概説的に触れておきたい。ストレスによる脳の変化を客観化するためには、脳内物質の定量化がもっとも適切であると思われるが、脳の反応というレベルで捉えてみたい。私たちの体は、ストレスにさらされた場合、さまざまな反応を示して、ストレスに適応していこうとする。この適応の機序は、内部環境を維持させる機能の働きが基盤となっている。この生体内機能をホメオスタシス（恒常性）とよんでいる。病気の主要因と考えられているホメオスタシスは、生体内の生理機能が常に一定の状態にあるときは健康であるが崩された状態になることで病気となると考えられている。病気の治療とは、細胞や機能の働きを元の状態に戻すこと、つまりホメオスタシスを維持させることである。一定の健康状態を維持するためにさまざまな生体機能を過度に駆使している状態も半病気の状態といえる。このような半病気の状態は、日常生活の中で常に起きうる状況である。たとえば熱が出る、アレルギー反応で皮膚が腫れる、内臓や関節が痛くなるといった反応は、ある意味、脳へのホメオスタシス破壊状態という情報伝達であり、脳はこの情報を処理してホメオスタシスを維持させるために防衛反応を示す。このようにホメオスタシスを維持するためには、決して受動的なことではなく、能動的に外部環境情報からの刺激を生体が感知し、そ

れに対して脳の情報処理が適切に行われて生体内環境を調節しホメオスタシスを保つことができるのである。

ホメオスタシスの維持には、ある程度のストレスの刺激が必要とされる。たとえば宇宙空間で生活する宇宙飛行士にとって、もっとも重要なストレスは、重力である。睡眠生理環境に適応した生体は、すべての器官・機能が重力というストレスに適応し、生存していることから、重力のない宇宙空間では、器官も機能も反応しなくなりホメオスタシスの維持が困難となる。つまりストレスによる刺激によりわれわれの生体は、ストレス反応を示し生理的機能を一定に保って生存しているといえる。たとえば睡眠の役割は、身体の状態を一定に保ちホメオスタシスを維持する仕組みとみなし、主たる機構をフィードバック制御と考えることができる。この理論では、睡眠は覚醒中に損なわれた身体の機能を回復させる働きがあることや、覚醒時のさまざまなストレスや覚醒時間の長さなどによって睡眠の質の変化が認められることから、睡眠の主な働きはホメオスタシスの維持にあるといえる。

S-プロセスモデルは、睡眠の調節に関するモデルで、前述の睡眠の役割は、身体のホメオスタシス維持機構であることを前提としたモデルである。このモデルでは、睡眠が誘発されるレベル（睡眠閾値）と覚醒が誘発されるレベル（覚醒閾値）についてある一定の振幅をもって律動的に繰り返されるリズムと考えられている。このモデルは、睡眠の生体リズムとしての特徴とホメオスタシス維持の特徴の双方を説明している。睡眠覚醒リズムの視点から捉えると、ホメオスタシスの波として捉えるのではなく、脳内で起こる内因性の振動と捉え、覚醒時間が長ければ睡眠時間も相関して長くなることになる。しかし内因性振動とするならば、負の相関となり、Wever⁷⁾は、この事実から睡眠と覚醒は生体リズムであると主張した。

第3項 ストレスと免疫

ストレスと免疫との関係は、ストレスに対応する生体の適応反応として次のような研究結果が示される。胸腺は、Tリンパ球が成熟し分化していく場所であるが、免疫系の重要な中枢臓器であることが明らかにされている。この胸腺がストレスによって委縮する反応が示された²⁾。ストレスによって免疫の中枢臓器の委縮が起こることは、ストレスが生体の防御機能を司っている免疫機能にも影響を及ぼすことを示している。免疫機能は、感染、異物侵入などに対する生体の防御およびアレルギー、自己免疫疾患を司っているもので、ストレスが免疫系を介してさまざまな疾患に影響を及ぼし、精神機能に対しても作用することで、発病の促進や病気の進行に影響する。

ストレスと生体の反応系として、自律神経系、内分泌系それに免疫系を加えてホメオスタシスの三角形として、ストレス病の発生機序に新たな見解が示されている。

情動ストレスと免疫系の関連について明らかにする方法に、視床下部の刺激、破壊によ

って免疫反応の変動を検証する研究が知られている。モルモットの視床下部前葉を電気破壊し無処置の対象群と比較した結果、視床下部前葉破壊群では、即時型反応、遅延型反応ともに免疫反応が抑制されていた。抗体産生は低く、アナフィラキシーの程度や、死亡率も低下し、Tリンパ球の反応とされる遅延型の皮内反応も抑制されていた。このことは、中枢神経の破壊が末梢の免疫反応に影響を及ぼしていることを示している。この研究結果と、疲労との関連は以下のことより関連づけられる。脳内のセロトニン、カテコールアミン、アセチルコリン、エンドロフィンなどと免疫反応との関連が報告されており、セロトニンの前駆物質である 5-HTP をモルモットに注射すると、トリプトファン欠乏食で飼育されたマウスの脳内セロトニン濃度は低下した。その結果抗体産生が亢進し、平均寿命が延びた⁸⁾。

第4項 疲労と睡眠

ヒト尿の抽出物から同定されたメチラポン(MP)は、疲労と免疫との関係に新しい関心をよび起こす引き金となった。生体がウイルスや細菌に感染すると、それらが体内で分解されて生じた物質、ウイルスでは二重鎖リボ核酸、細菌では、MPや内毒素が、インターロイキン、インターフェロン、腫瘍壊死因子、顆粒細胞集団刺激因子などのサイトカイン類の産生を促進することが明らかとなった。そして免疫系の生体防御反応を促進するとともに、発熱や食欲不振、深いノンレム睡眠の増加、レム睡眠の抑制を誘発することが示された。このことから感染した場合に出現する強い眠気は、生体防御あるいは免疫増強の重要な反応と理解することができる。

現在、疲労やストレスを評価する方法は、問診や心理テスト等による主観評価検査、血圧や心拍などの電気生理学的検査、血液や唾液などの生体のストレス関連物質を計測する生化学検査がある。主観評価検査によく用いられる心理テストは、POMS (Profile of Mood State : 気分プロフィール検査)⁹⁻¹²⁾、CMI (Cornell Medical Index : コーネルメディカルインデックス)¹³⁾や SCL (Stress Check List : ストレスチェックリスト)¹⁴⁻¹⁶⁾などがある。

POMS は、緊張、抑鬱、怒り、活気、疲労、混乱の6つの因子が同時に検査できるテストである。CMI は、臨床心理学的な観点から精神的な状態が関与する程度を検査するテストである。SCL 90 R (Symptom Checklist 90 Revised : 症状 チェックリスト) は、心理的抑鬱の概観を検査するチェックリストである。電気生理学的検査では、ストレス計測に用いられる生理信号は心電図、血圧、指尖脈波、呼吸活動、皮膚温、発汗による皮膚電気活動、瞳孔径や胃電図などが用いられる。

生化学検査では、Selye²⁾がストレス刺激により脳下垂体から副腎皮質刺激ホルモンの放出が増し、副腎皮質ホルモン(ヒドロコルチゾン、通称コルチゾール)が増加し、副腎髄質ホルモン(アドレナリン)がストレス応答により血中で増加することが原因であると

具体的な生化学物質による仮説を提唱し、尿中の 17 α ヒドロ キシコルチコステロイド (17 OHCS) をストレスマーカーとして研究を行った。

最近、化学ストレスと位置づけることも可能な活性酸素などに起因する酸化ストレスによって、生体分子の酸化損傷に関する分子生物学的な研究の進展は著しく、酸化ストレスマーカー(アドレナリン、ノルアドレナリン、コルチゾール、唾液アミラーゼ、クロモグラニン A、イムノグロブリン A、Neuropeptide Y など) が数多く明らかにされ検査方法が確立されてきた¹⁷⁻²⁸⁾。

ストレス応答の評価方法は問診や心理テストによる主観的評価方法として前記の POMS (Profile of Mood State)、臨床心理学的な観点からの CMI (Cornell Medical Index)、SCL (Stress Check List)、自律神経の興奮などを伴う状態不安やストレス状況の中で状態不安を生み出す個人内特性を測定する STAI (State-Trait Anxiety Inventory) がある。問診や心理テストなどの手法は、主観的な要素の影響が強く客観的評価を行うことは難しい。

電気生理信号を統計的、動力的に解析する手法は、心電図、血圧、指尖脈波、呼吸活動、皮膚温、発汗による皮膚電気活動、瞳孔径、脳電図などがある。血液や唾液などの生体試料中のストレス関連物質を計測する生化学手法は、交感神経－副腎髄質系由来の生理活性物質として唾液 α －アミラーゼ、急性のストレスにおいて大脳－視床下部－下垂体－副腎皮質系経路の活性化が高まり分泌が増えるコルチゾール、ストレスや情動に関連がある s-IgA などがある。特に、唾液中に分泌される物質は非侵襲的に検査可能であることより注目されている。しかし、電気生理学的検査や生化学検査手法は、検査分析に多く行程と時間を必要とする。

近年、生物や生体組織で観測される非常に弱い生物発光で、通常、光子として検出されるバイオフィォトンは、細胞の活動や化学反応の度合いを示し、生命活動を知る上で重要な指標として注目されている。

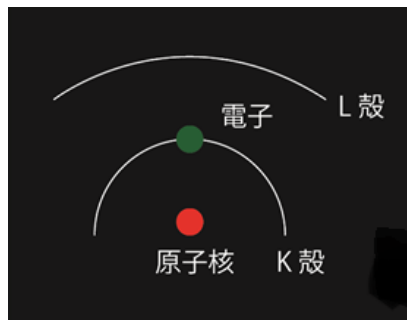
バイオフィォトンの検査は、非侵襲で検査時に身体への負担が少なく短時間の測定でき、光子の発光面積や発光強度などに非常に多くの生理情報が含まれていると考えられ、生体情報・健康情報の先端計測法として高い可能性を秘め、将来を大いに期待される。

第2節 バイオフィトン

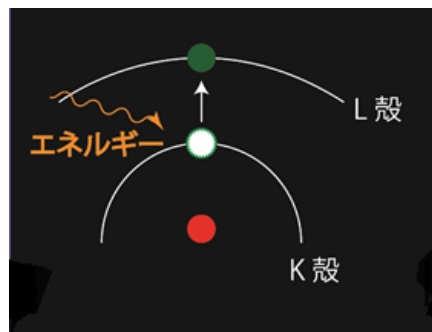
第1項 バイオフィトンの基礎

バイオフィトンは、生物の生命活動に伴って放射している極めて弱い自発的発光である。生化学反応過程で生じる活性酸素種やフリーラジカルなどを主にその起源とし、それらによる生体構成物質の酸化的修飾過程における励起分子の生成に由来する。バイオフィトンは生物種によらず生物一般において普遍的に観測される。バイオフィトン発光は、代謝過程など生体のさまざまな生化学反応における化学的励起状態に由来する発光であり、発光強度は、およそ $10\text{--}16\text{ W/cm}^2$ ($\sim 10^3\text{ photon/s}\cdot\text{cm}^2$) 程度以下、蛍の光の約1億分の1の明るさで、発光波長は可視域を中心とし紫外域から近赤外波長領域に及ぶが、その波長域での生体温度における熱放射に比較して2桁以上強い発光であるため、それとは区別して観測することができる。

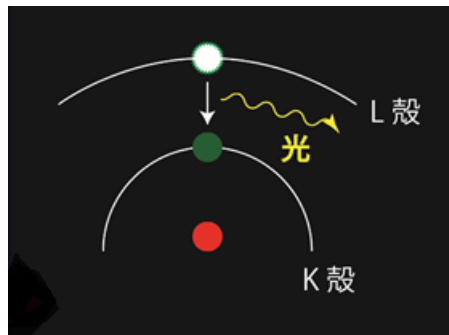
バイオフィトンは、細胞内呼吸やエネルギー代謝過程などの生理的機能と密接に関連していることがわかっている。また、内因的・外因的に生体内で発生した活性酸素種による酸化作用と、それに対する抗酸化作用とのバランス関係が酸化側に崩れた状態を「酸化的ストレス状態」というが、酸化的ストレスに起因する各種疾患とバイオフィトンの関連がこれまでに知られている^{29,30)}。発光メカニズムは、活性酸素が関与したタンパク質のアミノ酸残基や、不飽和脂肪酸核酸、DNAなど生体構成物質の酸化過程におけるフリーラジカルの生成とこれにより形成された酸素化中間体、あるいはその電荷分離を経て生起する励起状態、またさらに蛍光性物質へのエネルギー移行などが知られている³¹⁻³⁶⁾。



基底エネルギー
(エネルギーが低い状態)



基底か状態から励起状態へ
(外部からのエネルギーを受け、外側の軌道に移動する)



励起状態から基底状態へ
(軌道のエネルギー差に相当する光を発する)

図 1. 発光の物理プロセス

図 1 に発光の物理プロセスを示した。

原子は、その原子に特有ないくつかのエネルギー状態をもっている。最もエネルギーの低い状態を基底状態、それ以外の状態を励起状態という。励起状態の原子は、電子エネルギーが不安定であり、高い状態にある。励起状態にある原子の外側の軌道電子がより安定状態にある内側の軌道に遷移することにより、電子は余分なエネルギーを光として放出して基底状態に戻る。

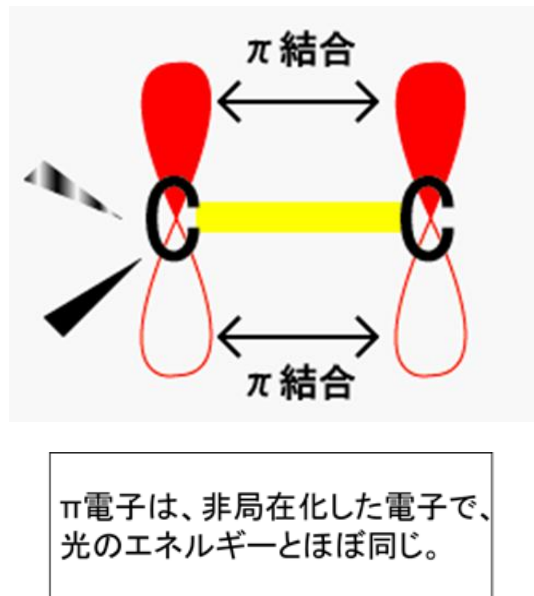


図2. π電子

発光の起因は、励起状態にあるπ電子とされている（図2）。

発光のプロセスとしては、この励起状態にあるπ電子が、電磁界のエネルギーにより、原子の外に電離して、そのときに光子を放出することになる。π電子とは、分子内のπ軌道にある電子のことを指す。π軌道とは、原子同士をつないだ直線に垂直な軌道。このπ電子は生命の電子といわれているとおり、生命活動にとって、非常に重要な役割を担う。π電子は、結合エネルギーが弱く、不安定なため、化学反応に関係している電子であり、生体内での化学反応にとって重要な役割を担うものである。電子を海に浮いているボールだと考える。波立っていない海では、ボールは静止しているが、波立つとボールが波の動きに合わせて上下する。この波が電磁場であり、更に、波が強くなると、ボールが海面を離れることがある。この状態が電離であり、フォトンを誘発するときの現象である。これは、あくまでも比喩的理解の例で、実際、電子はボールのような存在はなく、原子核の周りを雲のように存在している。

第2項 バイオエレクトログラフィーの歴史

バイオフィォンは、1930年代に、Gurwitsch^{37,38)}の「すべての細胞は光を放出している」という仮説に基づき、はじめて測定された。この測定は、生物における紫外線域での光子の交換による、情報の調整のためであるということを証明した。

50年後の1974年、Poppら³⁹⁻⁴¹⁾がDNAにおけるバイオフィォンの存在を立証し、レーザーのような光の特性を発見した。細胞は光を放出するだけでなく、吸収・蓄積することや、光の吸収時間と細胞の質との関係を発見した。健康な細胞ほど長時間光を蓄え、放出する

時も光に一貫性はあるが、不健康な細胞は短時間で光を消耗し、放出する光も無秩序となることが明らかとなった。その後、バイオフィオンの医学への応用研究はヨーロッパを中心に行われてきた。

1777年にLichtenbergのコロナの放電の電気流体の流れたあとの樹状図形を記録したリヒテンベルグ図(写真1)⁴²⁻⁴⁴⁾に始まり、人体の撮影としては、1892年、ロシアのNardkevitch-Yodkoの人間の手(写真2)の記録⁴²⁾に遡る。高周波電磁場の下で生じる生物からの発光現象は非常に神秘的で、現代まで多くの研究者を魅了し、さまざまな機器の開発や研究が行われてきた。その中において、1939年ごろキルリアン夫妻の開発したキルリアンカメラ(Kirlian photography)⁴⁵⁾が、1970年以降世界的に広がった。技術自体の名称は、バイオエレクトログラフイー(生体電気図)と呼ばれる。しかし、キルリアンカメラは再現性が少なく測定時のノイズが多いため、臨床分野での測定機器としての使用は困難であった。

バイオフィオンの発光メカニズムは、複雑でまだ十分に明らかにされていないが、物質がエネルギーを蓄積した時、熱として多くは放出されるが、一部光となって放出される現象であると考えられる。

バイオフィオンのメカニズムや役割を解明、計測するため、1986年から1991年に国家的な研究として稲場生物フォトンプロジェクト⁴⁶⁾が行われた。その後食品の品質評価、農業、医療とさまざまな分野で研究が進められている。医学分野では、がん細胞は強くバイオフィオンを発光し、腎不全患者の血漿中には活性酸素と反応すると発光する成分が含有されていることが明らかとなった。

レントゲンやMRIのように断層画像として生物フォトンを検出する光CTの研究も進み、複雑なメカニズムをもつバイオフィオンの画像から有用な情報を読み取り病気の診断や病態の解明につながるのではないかと期待されている。バイオフィオンの発生には活性酸素が関与している⁴⁷⁾。バイオフィオンは呼吸など生体内のさまざまな代謝過程において生体内で発生した活性酸素種による酸化反応に対する抗酸化作用とのバランス関係が酸化側に崩れ「酸化的ストレス状態」によって励起状態を生じる。

発光メカニズムは、発光活性酸素が関与したタンパク質のアミノ酸残基や、不飽和脂肪酸、核酸、DNAなど生体構成物質の酸化過程におけるフリーラジカルの生成とこれにより形成された酸素化中間体、あるいはその電荷分離を経て生起する励起状態、またさらに蛍光性物質へのエネルギー移行などがメカニズムとして知られている^{48, 49)}。

発光メカニズムが主に活性酸素と関連することから、生体の酸化ストレス計測に応用することが可能であると考えられる。

光電子増倍管の発明以降、あらゆる生物のあらゆる器官から、フォトンとしての弱い光が恒常的に観測されることが知られるようになった^{50, 51)}。また、バイオフィオンは細胞呼吸の酸化還元反応など、生体の基礎的代謝に関わっており、医療、生命科学、農業分野などで利用が可能だと考えられている。しかし、測定するには、複雑なプロセスと手間が必

要とされた。



写真1. リヒテンベルグ図



写真2. キルリアン写真

第3節 Gas Discharge Visualization

人間を測定するためには、可能な限りありのままの生命活動を測定することが重要である。生物の実証科学的研究を進める場合、研究の中でも重要な課題となるのが、測定技術である。測定技術の重要な内容として、測定時の対象への制約や影響を最小限にして、対象のありのままの状態や活動の一側面を測定することが上げられる。特に人間の精神生理に関わる測定において、測定時の制約や影響は、集中の阻害、ストレスなどを生じさせ、本来の対象の状態を変化させてしまうことがある。よって、測定時の対象の影響や制約を最小限に抑えた測定技術というものは、重要な課題となる。

1995年 Korotkov⁵²⁾により GDV⁵³⁾が開発された。生体のまわりに、電磁界を与えることにより、生体の皮膚表面（主に表皮と真皮）から、電子と光子の放出を誘発する。誘発された電子と光子が、空気中の分子と衝突することで、空気中の分子から電子を放出し、気体放電現象が生じ、光子の放出とともに青紫色の発光現象がともなう。GDVは、この発光をCCDカメラで撮影をしたものである。GDVは再現性が高くノイズも最小限に抑えることが可能となり、臨床分野での使用において大きく前進した。撮影画像は、デジタル化することにより数値化が可能となり、多く測定データを共有できるようになった。現在、西洋医学とは異なる生体エネルギーという概念を基とする健康産業や代替医療において、安全と非侵襲性が既存の機器では課題であったが、GDVは生体への影響なく効果測定の有効性があると期待されている^{54, 55)}。GDVは、このように電磁界を利用して、皮膚からの電子の誘発を生じさせ、電子を何千倍に加速させることで生じる発光現象を撮影する技術である。小林ら^{56, 57)}は、バイオフィトンと自発性の発光とに高い相関があると報告している。GDVは、自発性放出粒子と誘導性放出粒子の複合による発光現象をCCDカメラにより撮影している。GDVの発光現象に起因する電子は、主にタンパク質分子（主な事例としてアルブミン）にある励起状態にある π 電子、血液や細胞組織でのフリーラジカルを源にしていると仮説されている。発光現象は、生体のエネルギー代謝（ATPの合成）に関係していて、発光の状態を見ることにより、生体の機能状態や特性を理解することができる。

近年GDVによるバイオフィトンの研究は、アメリカやロシアを中心に行われ、応用物理学会など関係学会で数多く発表⁵⁸⁻⁶⁰⁾されている。

日本ではまだ研究の緒についたばかりで生体内エネルギーへのバイオフィトンに関する日本人を対象とした研究、発表は殆どみられない。

—第3章—
検査方法

第1節 GDV (Gas Discharge Visualization) 検査

生体のまわりに、電磁界を与えることにより、生体の皮膚表面（主に表皮と真皮）から、電子と光子の放出を誘発する。誘発された電子と光子が空気中の分子と衝突し、電子を放出することで気体放電現象が生じ、光子の放出とともに発光現象がともなう。GDV は、この発光現象を CCD カメラで撮影する（図1, 2）。

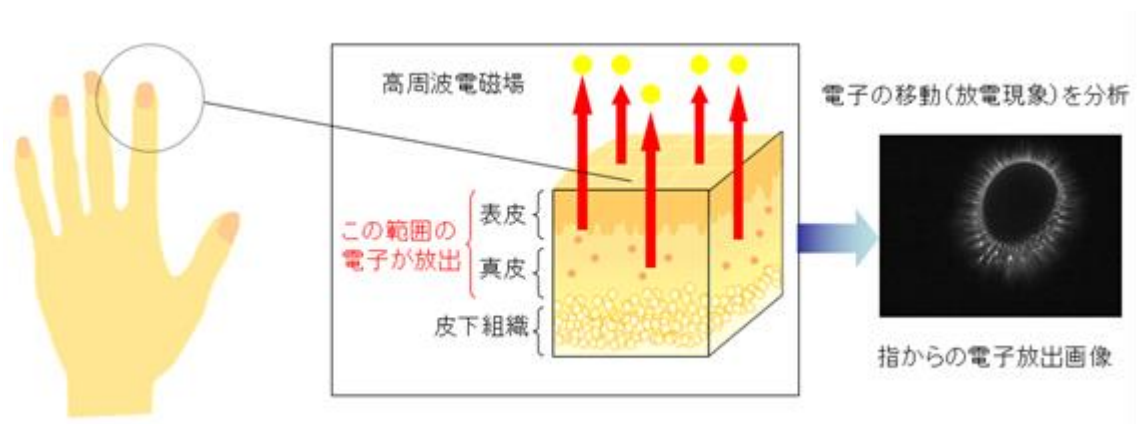


図1．皮膚の電磁界反応

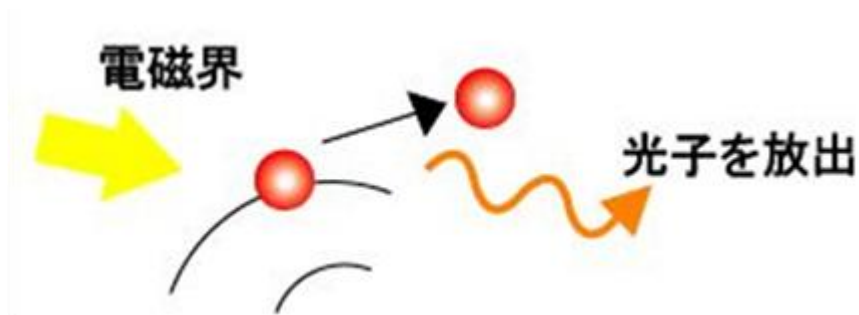


図2．生体からの自由電子放出の原理

GDV^{1, 2)}は、高周波高電磁界において生体から誘発される発光を撮影する機器である。カメラレンズは直径 50 mm、厚さ 4 mm の透明なガラス光ファイバーでできている。ガラスレンズ下、高電圧発生器により、周波数 1024Hz、電圧 9KV による電磁界を 10 マイクロ秒間隔で 0.5 秒発生させる。生体フォトンの撮影は手の指 1 本ずつカメラレンズ上に置いて行う（写真 3, 4）。



写真 3. GDV Compact カメラ



写真 4. GDV 撮影風景

測定は、両手の指 10 本を使用する。

GDV レンズの上に指を置き、指とレンズの角度を $15 \sim 40^\circ$ に保ち、右の親指から左手の小指まで指を 1 本 1 本、1R：右手親指、2R：右手人差し指、3R：右手中指、4R：右手薬指、5R：右手小指、1L：左手親指、2L：左手人差し指、3L：左手中指、4L：左手薬指、5L：左手小指の順序で測定する（図 1，2）。

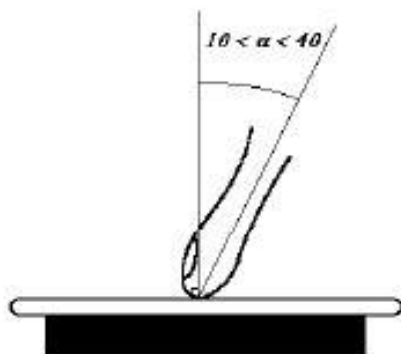


図 1. 撮影条件

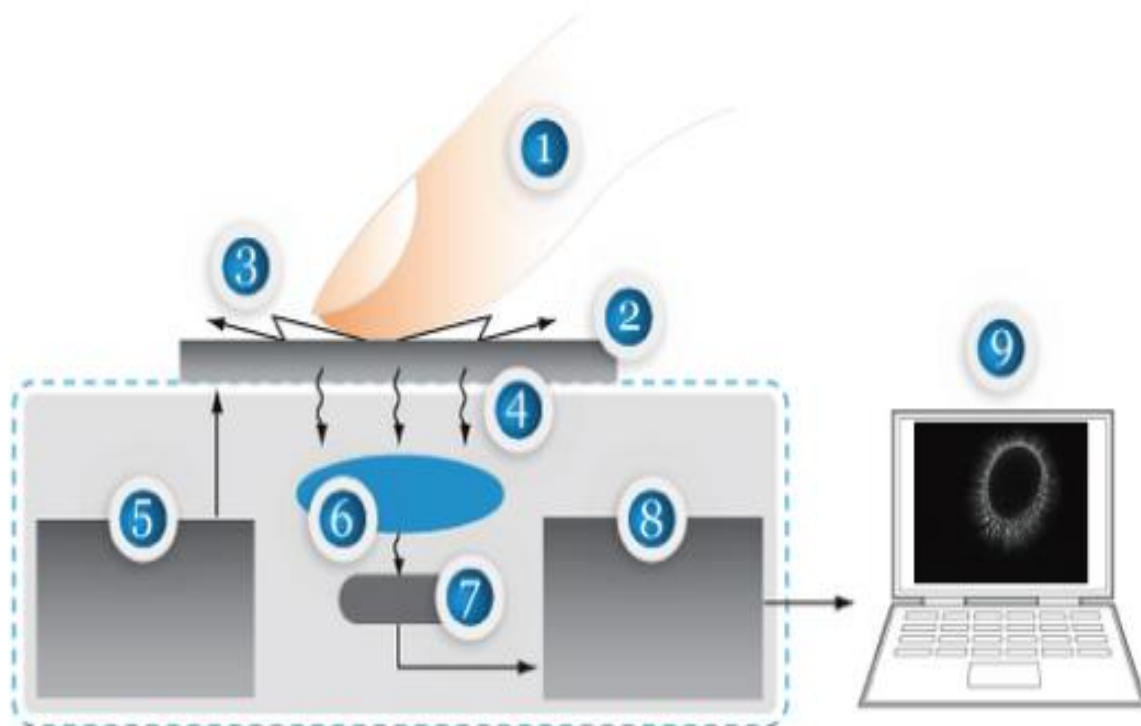


図 2. 測定解析の流れ

図1に示したように指を自然にレンズの上に置き、指とレンズの角度を $15\sim 40^{\circ}$ に保つ。測定解析の流れについては、図2に示したように指①を GDV レンズ②に置き、昇圧器⑤によって GDV レンズ上に電磁界を発生させる。電磁界の発生により、指の皮膚内の電子を起因とした気体放電（指とレンズの間に気体放電）③が生じる。その時生じる発光④を CCD カメラ⑥によって撮影し、光学システム⑦に送られ、ビデオコンバーター⑧によって撮影内容がデジタル化され、コンピュータ⑨に送られる。コンピュータに送られた画像を専用ソフトで発光状態を読み解くために幾何学的パラメータは解析ソフト GDV Scientific Laboratory で解析する。

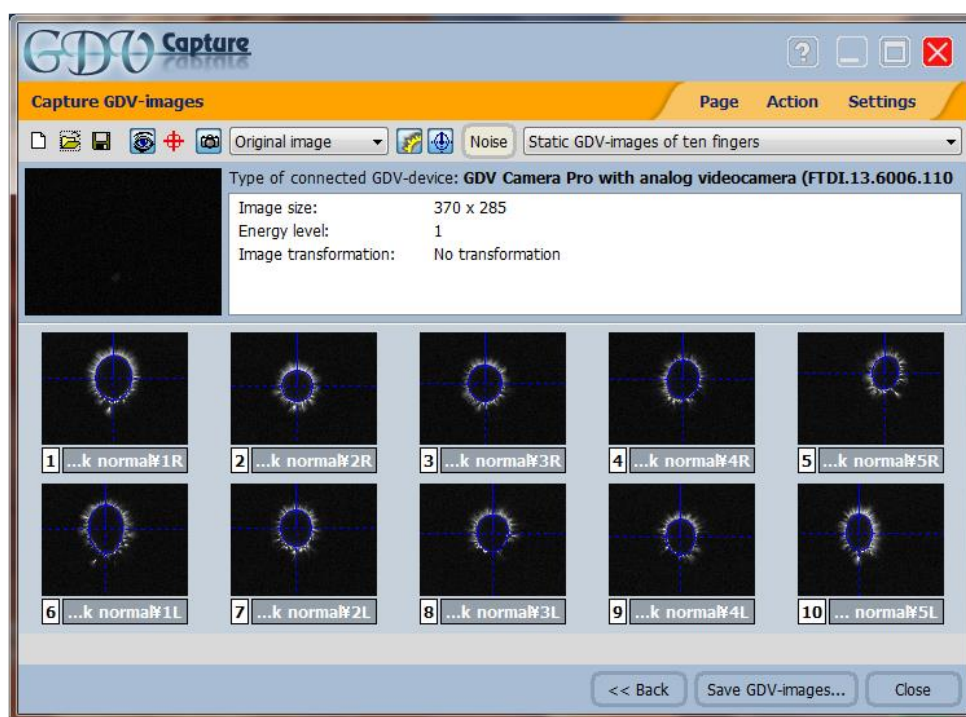
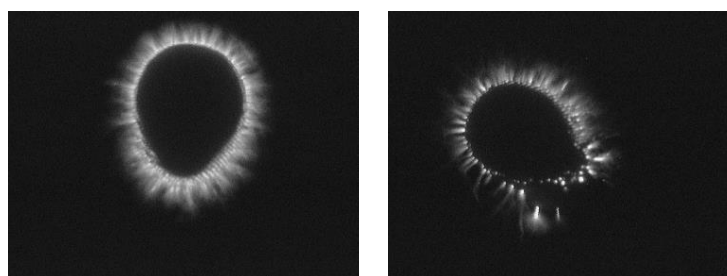


図 3 . 撮影画像



リラックス

ストレス

写真 3 . 画像例

GDO による撮影画像を図 3 に示した。中央の黒い部分が指先で、指先を囲うように周囲に白い発光が生じ、またストレスの状態に応じて、発光の状態も異なる。リラックス状態にある発光（写真 3 : 左）は、密度が高く形状も綺麗。一方で、ストレスがかかっている発光（写真 3 : 右）は、密度が荒く形もゆがんでいる。

図4は、GDVで測定し解析する項目のAreaとintensityの評価について示した。

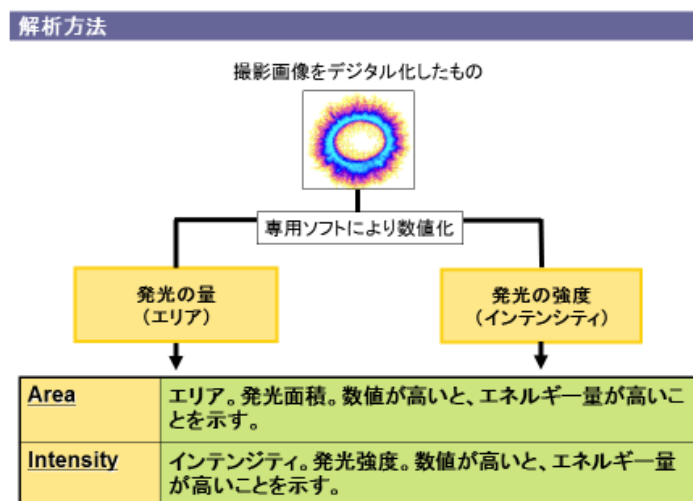


図4．GDV エネルギーフィールド 評価事項

図5は、GDVにより撮影された画像をエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いてデジタル処理し、スペクトル表示にした。

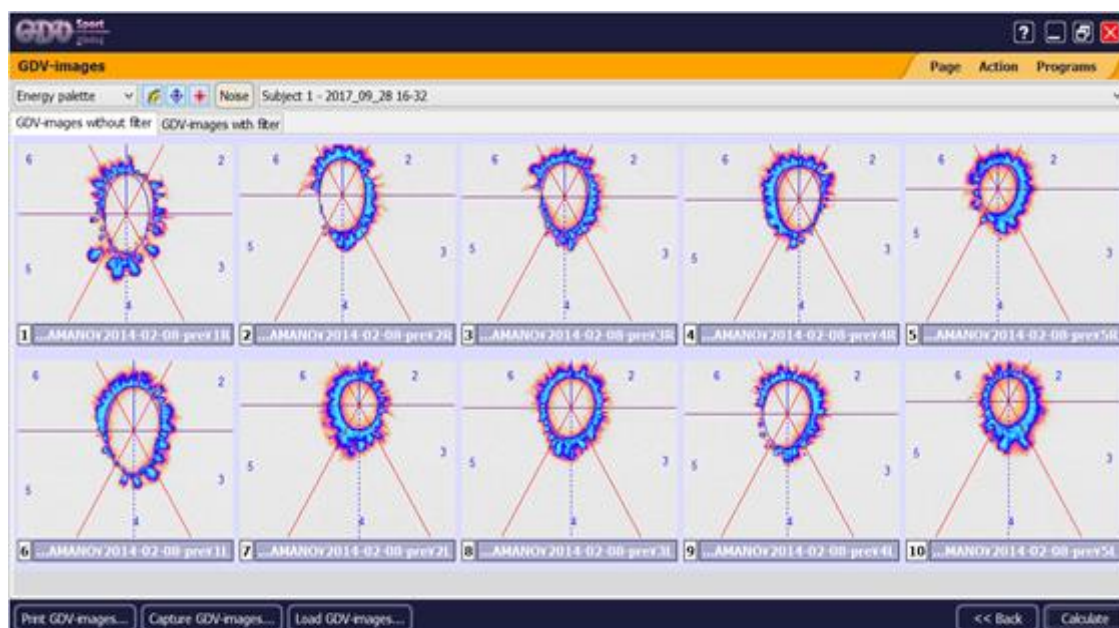


図5．スペクトル別着色画像

図 6 は、GDV により撮影された画像をエネルギーフィールドおよびサイエンティフィック
ラボラトリーソフトを用いてデジタル処理し、数値化した。

	Area	Average intensity	Entropy by isoline
Sample 1			
...1R.bmp	14364	80.8073	1.8241
...2R.bmp	13104	85.7328	2.06913
...3R.bmp	12849	82.812	1.55229
...4R.bmp	12430	81.9826	1.94674
...5R.bmp	11946	83.7702	1.87062
...1L.bmp	14192	80.677	1.67924
...2L.bmp	12717	80.6587	2.1205
...3L.bmp	12270	78.8736	1.71981
...4L.bmp	13838	81.3854	2.03238
...5L.bmp	12721	81.3868	1.71302
Count	10	10	10
Sum	130431	818.086	18.5278
Min	11946	78.8736	1.55229
Max	14364	85.7328	2.1205
Mean	13043.1	81.8086	1.85278
RMS	824.978	1.91082	0.18807
Median	12785	81.3861	1.84736
25 percentile	12501.8	80.7096	1.71472
75 percentile	13654.5	82.6046	2.01097
Skewness	0.552926	0.788033	-0.0317856
Excess	-0.967199	1.08979	-1.16389

図 6 . 解析結果

第2節 secretory - Immunogloblin A 検査

(唾液蛋白質中の s-IgA の割合) ³⁻⁶⁾

①唾液摂取

研究参加者の口内より 1ml 程度の唾液を、直接 50 ml 遠沈管に採取した。その後すぐに 1.5 ml 小チューブに移し替え、不純物を取り除くため、-20℃で冷凍保存する。分析時には、冷凍保存したサンプルを暖めて融かし、不純物を分けるため遠心機で 4℃、15000rpm で 5 分間遠心分離した後、得られた上澄みを試料とした。遠心分離後、新しい 1.5 ml 小チューブに上清を移し、氷上に放置した (写真 4, 5)。(測定用にとったらすぐ冷凍保存する)



写真 4. 遠心機



写真 5. 氷上にサンプル作成

s-IgA 濃度は、サンドイッチ酵素免疫測定法により測定した。試薬・手順は以下に示す。

②試薬

1.Coating Antibody(一次抗体): Goat anti-Human IgA-affinity purified
Concentration:1mg/ml, Catalog No:A80-102A

Amount:1mℓ, Working Dilution:1/100

2. HRP Detection Antibody(二次抗体):Goat anti-Human IgA-HRP conjugate

Concentration:1mg/mℓ, Catalog No:A80-102P

Amount:0.1mℓ, Working Dilution: 1:10000-1:200000

3. o-phenyldiamine:P-9187 Sigma Fast o-phenyldiamine dichloride tablets

この実験において使用する各溶液の作成方法を以下に示す。

A1. Coating Buffer, pH9.6

Carbonate (Na_2CO_3)-Bicarbonate (NaHCO_3):0.05M

A2. Wash Solution, pH8.0

Tris:50mM

NaCl:0.14M

0.05 % Tween 20,

A3. Blocking Solution, pH8.0

Tris:50mM

NaCl:0.14M

1% BSA

A4. Sample/Conjugate Diluent

Blocking Solution

0.05 % Tween20

A5. Stopping Solution

0.5M H_2SO_4

③手順

一次抗体 200 $\mu\ell$ と A1 溶液 20 mℓ を混ぜ合わせ、96 well plate (IWAKI 社製) に 100 $\mu\ell$ ずつ分注し、室温で 1 時間静置した。その後、プレートウォッシャーを用いて 3 回洗浄し、A3 溶液を 200 $\mu\ell$ ずつ分注した後、室温で 30 分静置した (写真 6)。



写真 6. 分析装置 プレートウォッシャー

ここまでの間に、0.1, 0.26, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の 8 濃度の Standard s-IgA を、500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の s-IgA ストック液を A4 溶液で希釈し作成する。また、使用する唾液サンプルも A4 溶液で 200 倍に希釈する。30 分静置後、再び 3 回洗浄し Standard s-IgA とサンプルを各穴に 100 μl ずつ分注し、1 時間室温で静置した。その後、再び 5 回洗浄し、二次抗体 1 μl と A4 溶液 25 ml を混ぜ合わせたものを各穴に 100 μl ずつ分注した後、再び 1 時間室温で静置する。その後、酵素基質液（使用直前に o-phenyldiamine dihydrochloride tablet sets を D.W. 20 ml に溶かす）を各穴 200 μl ずつ分注し、室温で 10 分静置する。静置後、A5 溶液を各穴に 50 μl ずつ分注し、反応停止後、MICRO PLATE READER Benchmark（日本バイオ・ラッドラボラトリー社製）にて吸光度（波長 490 nm）を測定した。表 1 に 96 well plate での標準溶液と検査用液の分布を示した。

表 1. Plate 作成

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B	標準 (0.1)	標準 (0.5)	標準 (2.0)	標準 (8.0)	唾液 1 - 1	唾液 1 - 3	唾液 2 - 1	唾液 2 - 3			
C	標準 (0.1)	標準 (0.5)	標準 (2.0)	標準 (8.0)	唾液 1 - 1	唾液 1 - 3	唾液 2 - 1	唾液 2 - 3			
D	標準 (0.1)	標準 (0.5)	標準 (2.0)	標準 (8.0)	唾液 1 - 1	唾液 1 - 3	唾液 2 - 1	唾液 2 - 3			
E	標準 (0.26)	標準 (1.0)	標準 (4.0)	標準 (16.0)	唾液 1 - 2	唾液 1 - 4	唾液 2 - 2)	唾液 2 - 4			
F	標準 (0.26)	標準 (1.0)	標準 (4.0)	標準 (16.0)	唾液 1 - 2	唾液 1 - 4	唾液 2 - 2	唾液 2 - 4			
G	標準 (0.26)	標準 (1.0)	標準 (4.0)	標準 (16.0)	唾液 1 - 2	唾液 1 - 4	唾液 2 - 2	唾液 2 - 4			

④検体の s-IgA の濃度算出

Excel により片対数グラフの横軸に s-IgA 濃度 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)、縦軸に吸光度 (490 nm) をとり、各標準ヒト s-IgA 濃度と、それぞれの吸光度の対応点をプロットし、標準曲線を作成した。この標準曲線の回帰式を求め、そこに検体の得られた吸光度をあてはめることにより各サンプルの s-IgA 濃度を算出した。ここでの標準曲線は一次式に近似できるものとし、明らかに直線から外れているものは除外した。

⑤総タンパク質濃度測定

唾液摂取方法は、s-IgA 濃度測定時と同じとした。

1. PBS (Phosphate buffered saline), 10ml Phosphate buffer, pH7.0, 0.8% NaCl
2. A 液 (2% Na_2CO_3 in 0.1M NaOH)
3. B 液 (0.5% CuSO_4 in 1% クエン酸 [$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$])
4. C 液 (アルカリ性銅溶液) : 使用直前に A 液:B 液=50:1 の割合で混合した。
5. D 液 : フェノール試薬を、使用する直前に D.W. で 2 倍に希釈した。
6. タンパク質 (牛血清アルブミン, BSA, ナカライテスク)

総タンパク質濃度測定は、Lowry 法により測定した。手順を以下に示す。

96 well plate (IWAKI 社製) に、0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00 mg/ml に PBS を用いてそれぞれ希釈した BSA 溶液及び、PBS を用いて 20, 10, 6.67, 5, 4 倍に希釈した検体唾液を 25 μ l ずつ分注した。それぞれに C 液を 250 μ l ずつ加え室温で 20 分静置した。

「ビュレット反応」

反応終了後、各穴に D 液を 25 μ l ずつ加え、すぐによく混ぜ、室温で 30 分静置後、MICRO PLATE READER Benchmark (日本バイオ・ラッドラボラトリー社製) にて吸光度 (波長 750 nm) を測定した。

⑥ 検体の蛋白質の濃度算出

Excel により横軸に BSA 体積 (μ l) \cdot 唾液体積 (μ l)、縦軸に吸光度をとり、それぞれ近似直線を求めた。その直線の式を求め次式により蛋白質濃度を求めた。

$$\text{唾液蛋白質濃度} = 1(\text{mg/ml}) \times$$

$$(\text{唾液体積} \cdot \text{吸光度グラフの傾き}) / (\text{BSA 体積} \cdot \text{吸光度グラフの傾き}) \text{ ---①}$$

⑦ 唾液蛋白質中の s-IgA の割合

⑥で測定した s-IgA 濃度と総蛋白質濃度を、次式に当てはめ唾液蛋白質中の s-IgA の割合を以下の式で求めた。

$$(\text{唾液蛋白質中の s-IgA の割合}) = (\text{s-IgA 濃度}) / (\text{総タンパク質濃度}) \text{ ---②}$$

第3節 POMS (Profile of Mood States) 検査

POMS 検査は、気分に関するテストで緊張・抑うつ・怒り・活気・疲労・混乱の6因子で構成されており、気分の概念を多角的に捉え心理的コンディショニングの状態を診断する指標で、65の質問項目に答える質問紙法検査^{7,8)}である(図8)。

6つの気分尺度で65の質問からなり、各質問は点数化され、得られた得点を POMS 手引き書にある検定された数値と比較することで、心的ストレスの高さを測ることができるものである。6つの気分尺度を下記に示すとともに図8に POMS 検査用紙を示した。

◇T-A：緊張－不安 (Tension-Anxiety)

「気がはりつめる」「不安だ」などの9項目から構成され、得点が高い場合、より緊張していることを示す。

◇D：抑うつ－落込み (Depression-Dejection)

「ゆううつだ」などの15項目から構成され、得点が高い場合より自信を喪失していることを示す。

◇A-H：怒り－敵意 (Anger-Hostility)

「怒る」「すぐけんかしたくなる」などの12項目から構成され、得点が高い場合、より怒りを感じていることを示す。

◇V：活気 (Vigor)

「生き生きする」などの8項目から構成され、この項目は他の5尺度とは異なりポジティブな項目であるため、この得点が低いと活気が失われていることを示す。

◇F：疲労 (Fatigue)

「ぐったりする」などの7項目から構成されて、得点が高い場合、より疲労感を感じていることを示す。

◇C：混乱 (Confusion)

「頭が混乱する」などの7項目から構成され、得点が高い場合、より混乱し考えがまとまらないでいることを示す。

POMS™ 短縮版

原著/Maurice Lorr, Ph.D., Douglas M. McNair, Ph.D., & JW P. Heuchert, Ph.D. & LEO F. Droppleman, Ph.D. 訳・構成/M.D.横山和仁(医学博士・精神科医)

実施日 年 月 日

氏名

年齢 歳 性別

カタカナで姓と名の順に1文字ずつ入れる

※西暦、下2桁で記入してください。

◆POMSを受けられる方へ◆

この質問紙は、あなたの気分状態をおたずねするものです。それぞれの質問について、あまり深く考えず、第一印象を大切にしてください。

記入のしかた

①回答欄の1～30の各項目について、過去1週間のあいだの気分をあらわすのに、いちばんあてはまるものを、
0=まったくなかった 1=すこしあった 2=まあまああった
3=かなりあった 4=非常に多くあった

の中から1つだけ選び、☐をチェックしてください。

②まちがえたときは二本線で訂正してください。

③30項目すべてに答えてください。

回 答 欄	最も あては まらな かった	1 すこ しあ った	2 ま あ ま あ った	3 か ん り あ った	4 非 常 に 多 く あ った
1 気がはりつめる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 怒る	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 ぐったりする	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 生き生きする	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 頭が混乱する	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 落ち着かない	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 悲しい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 積極的な気分だ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 ふきげんだ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 精力がみなぎる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 自分はほめられるに値しないと感じる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 不安だ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 疲れた	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 めいわくをかけられて困る	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 がっかりしてやる気をなくす	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 緊張する	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 孤独でさびしい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 考えがまとまらない	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 へとへとだ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 あれこれ心配だ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 気持ちが沈んで暗い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 だるい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 うんざりだ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 とほくに暮れる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 はげしい怒りを感じる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26 物事がてきばきできる気がする	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27 元気がいっぱいだ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28 すぐかとなる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 どうも忘れっぽい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 活気がわいてくる	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*全部記入したか確かめてください

Profile of Mood States - Brief
Japanese Version
POMS™ 短縮版
©1991
発行 株式会社 金子書店

Copyright ©1991, Douglas M. McNair, Ph.D., Jani Lorr, Ph.D., Leo F. Droppleman, Ph.D., JW P. Heuchert, Ed. Tokyo, under exclusive license to Multi-Health Systems Inc.(MHS).
Japanese edition published by Kibohs Shoten under license from MHS. International copyright in all countries under the Rome Union, Bilateral and Universal Copyright Conventions. All rights reserved. Not to be reproduced in whole or in part, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, photocopying, mechanical, electronic, recording or otherwise, without prior permission in writing from MHS. Application for written permission should be directed in writing to MHS at 3750 Victoria Park Avenue, Toronto, Ontario M2H 3G9.

図 8. POMS 検査用紙

第4節 身体活動量検査

1. 運動負荷検査

研究参加者の呼吸循環器機能を把握するため、酸素摂取量の測定を行った。まず、安静時代謝を知るため、椅座位、仰臥位、立位の姿勢を各5分ずつとらせ、最後の1分間に酸素摂取量(VO_2)と心拍数(HR)を測定した。

次に活動時代謝を知るために運動負荷検査を行った。運動負荷はトレッドミル(中旺ヘルス社製：HJ-5001)を用い、速度漸増負荷法で行った。負荷に伴う検査は、50/80/110/140(m/min)で3分間ずつ、各負荷の最後の1分間に酸素摂取量(VO_2)と心拍数(HR)を測定した。

心拍数は、心電図を胸部双極誘導法によりバイオビューE(日本電気三栄社製)を介して、各負荷時の心拍数をR-R間隔より求めた。

酸素摂取量の測定は、代謝測定システム装置(iWork Systems Inc. 社製：IX-TA-220：写真7)を用い呼気ガスを測定し、パソコンへAD変換することにより求めた。



写真7. 代謝測定システム装置

2. 24 時間心拍数測定法

研究参加者の 1 日の活動水準を把握するため、心拍数を 1 分ごとに連続記録した。心拍数の記録には WristableGPS (EPSON 社製:SF-810:写真 8) を用いた。24 時間記録した心拍数は、データ処理用 NeoRun を介して、1 日の心拍数を求め解析した。



写真 8. WristableGPS

3. 消費エネルギーの算出

運動負荷検査から得られた VO_2 —HR 関係式と 24 時間心拍数測定法⁹⁻¹²⁾により総酸素摂取量を算出し、総消費エネルギーを算出した。尚、総酸素摂取量をエネルギー量に変換するには、呼吸商を 0.9 とし、酸素 1ℓ あたり 4.924kcal とした。

第5節 統計解析

全ての実験データの統計処理は、エクセル統計（ベルカーブ社製）を用いた¹³⁾。

研究1では、繰り返しのある一要因分散分析により検討した。多重比較検定は、TukeyのHSD法を利用した。二変量の関係をピアソン積率相関係数により検討した。統計的仮説検定の有意水準は5%とした。

研究2では、平均値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。平均値の差の大きさを検討するために、Cohen'sによる効果の大きさ（Effect Size:ES）を算出した。信頼性は、単一の信頼性変動係数（CV）を用いた。二変量の関係をピアソン積率相関係数により検討した。

研究3では、二要因分散分析を行い、多重比較検定はDunnett法およびTukeyのHSD法を用いた。統計的仮説検定の有意水準は5%とした。

－第4章－

研究1

バイオフィトンからみた
生体内エネルギーの日内変動

第1節【緒 言】

人体が律動性をもつことはよく知られており、生体内リズムの研究は医学界で注目を集めていた。心拍数と呼吸のリズムは即時の身体活動として知られている。季節周期に関連する身体機能の変動は、Hippocrates によって記録された¹⁾。Kleitman は人間を対象とした実験でこのリズムを確認した²⁾。概日リズムが内因性であることが確認された後、Moore³⁾ と Stephan⁴⁾ は、脳の視交叉上核で哺乳類の体内時計を検出し、バイオリズムの科学の本格的な発展をもたらした。生物は、日常生活の中で非常に弱い電磁波（光子）を放出する。非常に弱い光子が最近同定され「生命」を意味する「バイオ」という用語と、光の量子を意味する「フォトン」とを組み合わせた「バイフォトン」と呼ばれている。この最近の発見は「生物学的光」の新しい概念を確立し、有用な情報を提供した。誘発光子は生命の重要な指標として多くの注目を集めている。それらは主に、生体内酸化的代謝過程における生物学的物質の化学的励起から生成される活性酸素およびフリーラジカルによって引き起こされる。したがって、この発光挙動は、活動や生理的代謝と関連して普遍的に観察される⁴⁾。GDV は、生体の電子の動きを分析することによってバイオフォトンの変動を観測する量子物理的検証方法である。Korotkov⁵⁾ は、Kirlian 効果の本質に基づいて電磁界を利用し、皮膚からの電子の誘発を生じさせ、電子を数千倍に加速させて自発性放出し、粒子と誘導性放出粒子の複合による発光現象を CCD カメラにより撮影し、高電圧の機器の影響を最小限に抑える技術などにより、再現性が高く、ノイズも最小限に抑えることができる GDV (Gas Discharge Visualization) 装置を開発した。

その後、海外においては GDV によるバイオフォトンの研究が数多く行われるようになった⁶⁻¹¹⁾。

日本においては、バイオフォトンによる生体反応の研究は緒についたばかりで研究報告は数少ない。特に日本人を対象として GDV からみた日内変動に関する研究は、我々が初めてである。本研究では、成人男性 25 名を対象とし、日常生活の代謝レベルにおけるバイオフォトンの指標が、生体内エネルギーの日内変動について検討することを目的とした。

第2節【方 法】

第1項 研究参加者

研究参加者は、医学的に健康と評価される成人男性 25 名とし、表 1 に研究参加者の身体的特徴を示した。

研究参加者にはインフォームドコンセントとして本研究の趣旨を詳細に説明した後、生体負荷検査に参加する旨の承諾を得た。なお、本研究は大阪府立大学高等教育推進機構倫理委員会の承認を得たものである。

表 1. 研究参加者の身体的特徴

n=25	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Mean	22.2	171.0	62.9	21.4
SD	1.3	6.2	10.0	2.8

第2項 検査項目

研究参加者の日内変動を検証するために、1 日 7 回（9 時・11 時・13 時・15 時・17 時・19 時・21 時）の検査を行った。生活活動強度は、身体的に激しい活動を伴わない日常生活であった。

検査は、バイオフィトン、s-IgA/蛋白比率、心拍数、消費カロリーの測定を行った。

バイオフィトンの測定は、バイオエレクトログラフイー装置：GDV（Kirlionics Technologirs International 社製）¹²⁾ を用いて行った。検査は、研究参加者の指を GDV レンズの上に置き、指とレンズの角度を 15～40° に保ち下記の順序で撮影した(図 1)。

1R：右手親指 2R：右手人差し指 3R：右手中指 4R：右手薬指 5R：右手小指
1L：左手親指 2L：左手人差し指 3L：左手中指 4L：左手薬指 5L：左手小指

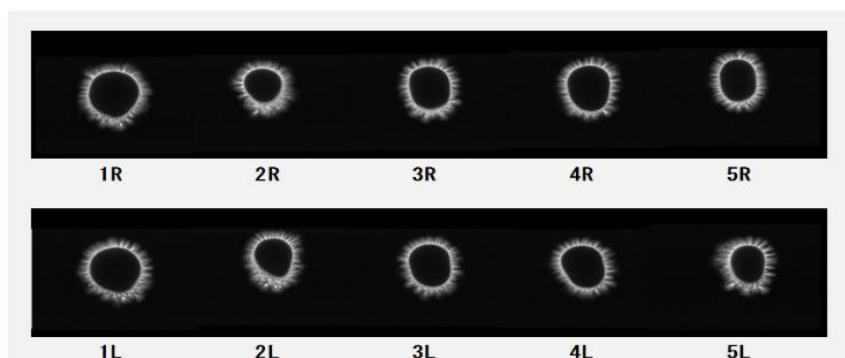


図 1. GDV による指からの電子発光画像

心電図と酸素摂取量の測定は、ガス分析器（iWorx 社製:IX-TA-220）により分析した。日常心拍数は、GPS Sports Monitor（EPSON 社製:WristableGPS.SF-810）により記録した。

第 3 項 分析方法

バイオフィォンは、エネルギーフィールド、サイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて分析した。バイオフィォンのエネルギーフィールド指標として Area、Intensity の値を算出した。エリアは、発光面積で数値が高いと生体内エネルギー量が高いことを示す。インテンシティは、発光強度で数値が高いと生体内エネルギー量および神経伝達能が高いことを示す。

s-IgA/蛋白比率の分析は、唾液を直接 50ml 遠沈管に採取し、1.5ml マイクロチューブに移し、15000rpm で 5 分間遠心分離した後、得られた上澄みを試料とした。s-IgA/蛋白比率値は、サンドイッチ酵素免疫測定法により測定し、Lowry 法により唾液中の蛋白濃度を測定し、s-IgA/protein を下記の式より算出した¹³⁻¹⁶⁾。

$$(\text{唾液蛋白質中の s-IgA の割合}) = (\text{s-IgA 濃度}) / (\text{総タンパク質濃度}) \text{---①}$$

s-IgA/蛋白比率は、数値が高いとストレス抵抗性が高いことを示す。

心拍数は、GPS Sports Monitor データ処理用 Neo Run を介して、心電図の記録より 1 分間の心拍数を求め解析した。消費カロリーは、心拍数連続記録方式を用いて心拍数/酸素摂取量関係式より算出した^{17, 18)}。

第4項 統計解析

統計処理には、エクセル統計（ベルカーブ社製）を用いた。繰り返しのある一要因分散分析により検討した。多重比較検定は、Tukey の HSD 法を利用した。二変量の間をピアソン積率相関係数により検討した。統計的仮説検定の有意水準は 5%とした。

第3節【結 果】

第1項 身体活動レベル

研究参加者 S.N. の心拍数変動を参加者の代表値として図 2 に示した。研究参加者 S.N. の覚醒時の平均心拍数は、 85.9 ± 9.4 beats/min、測定時間内の最高心拍数は 135 beats/min、最低心拍数は 63 beats/min を示した。

研究参加者全員の覚醒時心拍数の平均値は、 75.8 ± 9.2 beats/min、消費カロリーは、 936.4 ± 87.6 Kcal を示し、生理的指標からみて身体活動レベルは、日本人のふつう（Ⅱ）であった²²⁾。

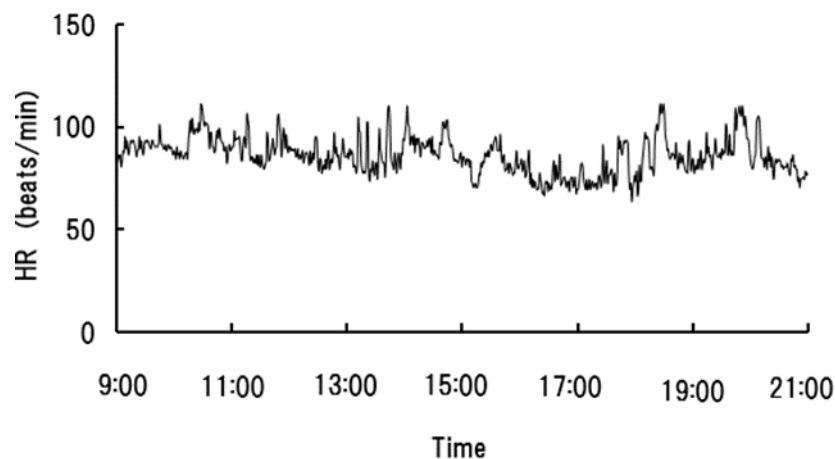


図 2．覚醒時の 12 時間における心拍数変動 (Subj. S.N)

第2項 覚醒時のバイオフィトン日内変動

バイオフィトンのエネルギー指標 Area、Intensity について分析をした。

その結果、Area は、9 時に $12,311 \pm 1,406$ pixel を示し、11 時に $12,585 \pm 1,916$ pixel、13 時に $12,177 \pm 1,365$ pixel、15 時に $12,563 \pm 1,136$ pixel、17 時に $11,852 \pm 1,525$ pixel、19 時に $12,087 \pm 1,516$ pixel そして 21 時に $11,873 \pm 1,207$ pixel であった (図 3)。9 時の開始値と比較して 21 時では有意な減少が観察された ($p < 0.01$)。

この結果 Area の日内変動は、三峰性を示しながら変動していることが示された。バイオフィトンのエネルギー指標 Area によって日内変動が律動性を示すことが認められ、このことからエネルギー指標 Area は、サーカディアンリズムの存在を明確にとらえられることが明らかとなった。

Intensity については、9 時に 83.2 ± 2.3 arbitray units を示し、11 時に 83.5 ± 2.5 arbitray units、13 時には 85.2 ± 5.9 arbitray units、15 時に 84.0 ± 2.1 arbitray unit、17 時に 84.4 ± 2.2 arbitray units、19 時に 84.44 arbitray units と高い値を示しながら 21 時に 82.9 ± 2.1 arbitray units であった (図 4)。9 時の開始値と比較して 21 時では有意な減少が観察された ($p < 0.01$)。Intensity の日内変動は、Area と同様に三峰性を示しながら変動していることが明らかになった。

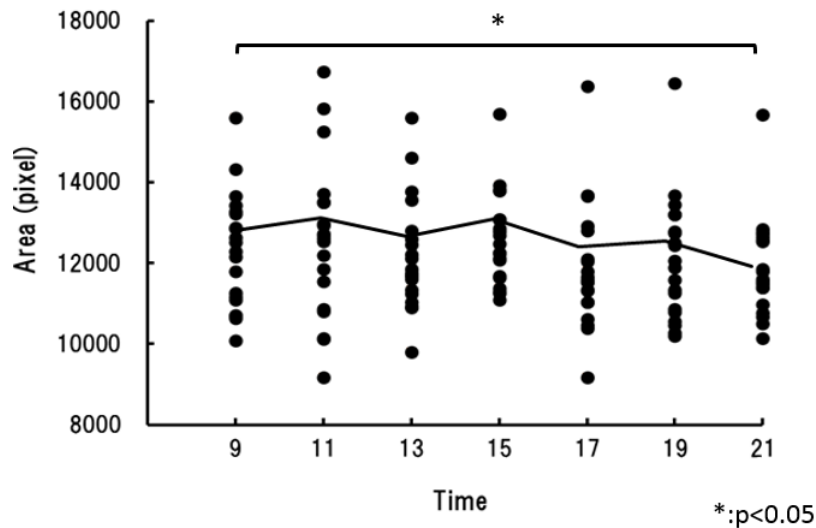


図 3. エネルギーフィールド指標 Area の日内変動

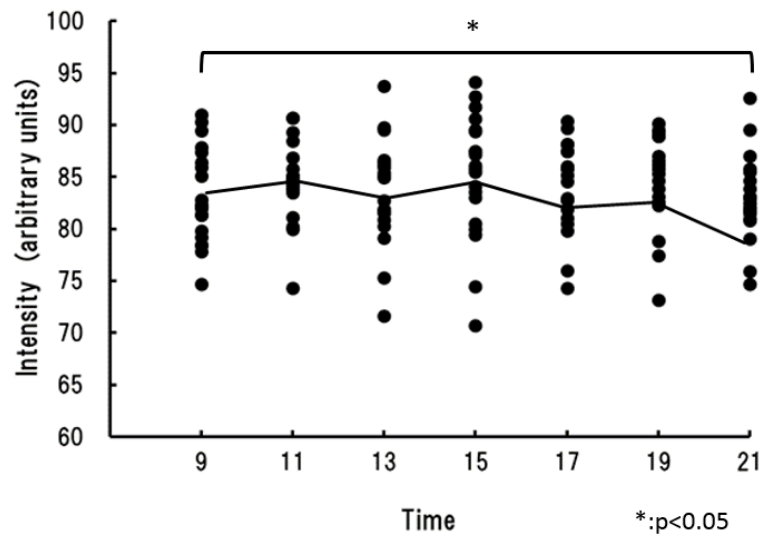


図 4. エネルギーフィールド指標 Intensity の日内変動

第3項 s-IgA の日内変動

s-IgA/蛋白質量は、睡眠から覚醒後9時に $13.8 \pm 1.0\%$ を示し、11時に $15.0 \pm 1.4\%$ 、13時に $14.1 \pm 1.3\%$ 、15時に $14.4 \pm 1.5\%$ 、17時に $13.3 \pm 1.5\%$ 、19時に $14.3 \pm 1.3\%$ 、21時に $12.9 \pm 2.1\%$ を示した (図5)。9時の開始値と比較して21時では有意な減少が観察された ($p < 0.01$)。この s-IgA/蛋白質量の日内変動は、バイオフィオンのエネルギー指標 Area、Intensity と同じ律動性のある日内変動でサーカディアンリズムが認められた。

このことから、バイオフィオンのエネルギーフィールド指標と唾液中の s-IgA との相関関係について検討した。

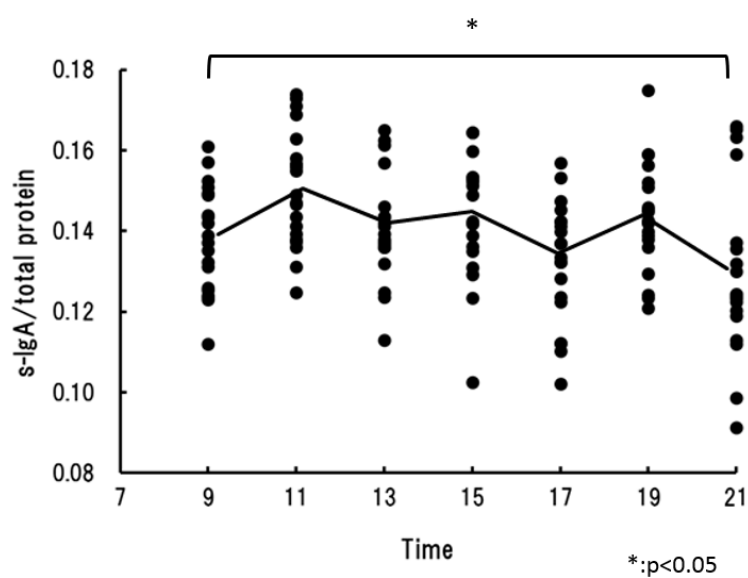


図5. s-IgA/total protein の日内変動

第4項 エネルギーフィールド指標と s-IgA との相関関係

バイオフィオンのエネルギー指標について Area と唾液中の s-IgA との間には、有意な相関 ($r=0.51$, $p<0.05$) が認められた (図6)。また、バイオフィオンのエネルギー指標 Intensity について唾液中の s-IgA との間には有意な相関 ($r=0.49$, $p<0.05$) が認められた (図7)。

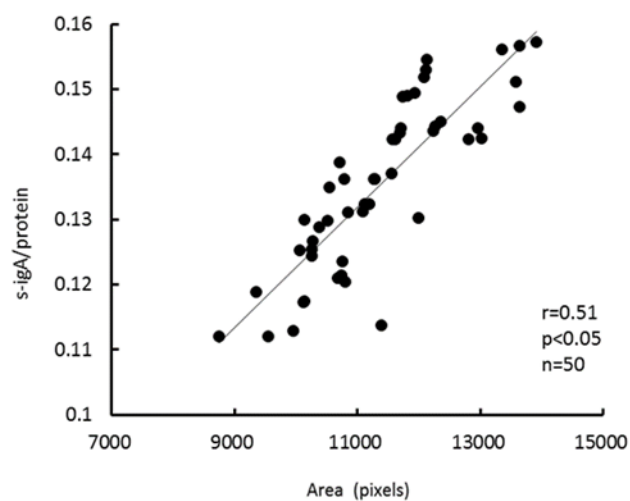


図6. Area と s-IgA との相関関係

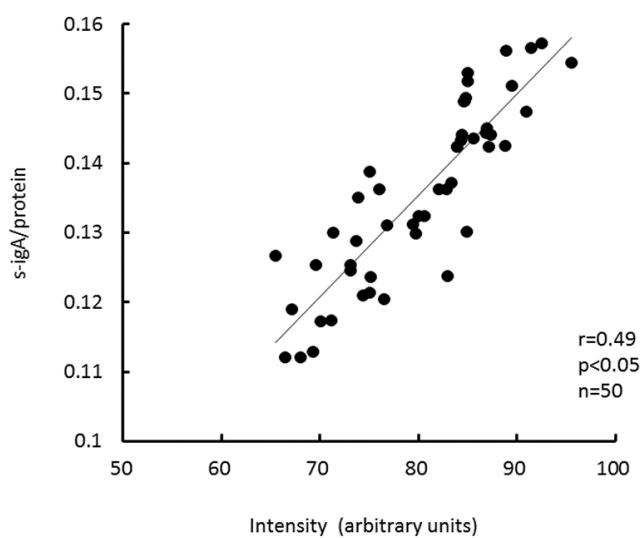


図7. Intensity と s-IgA との相関関係

第4節【考 察】

本研究においては、バイオフィトンといわれる生体の自発性粒子の放出であるきわめて微弱な発光に着目した。

この発光は、生体内のエネルギー状態を間接的に示している。発光現象を検出するため Korototkov¹²⁾ によって開発された GDV を使用し生体内のエネルギー状態を間接的にとらえた。しかし、生体内の働きは瞬間ごとにリズムを持って変動している。そこで我々は、生体内のエネルギー状態を微弱な発光によってとらえることにより、日内変動をどの程度とらえられるか、また律動性のあるサーカディアンリズムを微弱な発光現象からとらえることが可能かについて検証を試みた。

生体内リズムに関しての研究は、医学の分野においては、近代医学が確立される以前から人体の働きに、明らかなリズムがあることはよく知られていた事実である。身体の働きの身近なものとして、心拍リズムや呼吸リズムが知られるが、1日のうちでの変動や女性の性周期に代表される月単位の周期などもそうである。さらに季節の変動に伴う身体の機能の変化などは、Hippocrates の環境論の中で取り上げられている。Mairan¹⁹⁾ がねむりくさ (Mimosa pudica) の葉の就眠運動が暗室の中でも規則正しく続けられていることに気づいたのが、内因性生物リズムの発見につながった。内因性リズムを動物によって確かめたのが Richter²⁰⁾ である。その後ヒトを対象として確かめたのが Kleitman²¹⁾ であり、サーカディアンリズムが内因性であることが確立し、哺乳動物の生物時計が脳の視交叉上核にあることが Moore³⁾ と Stephan⁴⁾ により発見され生体リズム学は本格的に発展した。生物リズムといっても実にさまざまなものがある。たとえば脳の視床下部の室傍核から出るバゾプレッシンニューロン (vasopressin secreted neuron) を例にとってみる。このニューロンは電気活動がミリ単位の間隔で群発し、これをバーストという。このバースト発射も生体リズムといえる。脳波にみられるリズム、1日の睡眠覚醒リズム、女性の月経周期、さらには人間の一生つまりライフサイクルも生体リズムに属する。つまり、生体リズムの周期のスペクトルはミリ秒単位から100年単位にも及ぶ。この地球上に生命が誕生したのは、今からほぼ36億年前といわれている。生物の系統発生の過程で原核細胞から真核細胞への移行は、大変革と考えられるがそれでも系統発生のごく早い時期と考えられている。地球上の生物をみると真核細胞のほとんどすべてにサーカディアンリズムを認めることができる。従って系統発生のかかなり早い時期にサーカディアンリズムは生命の基本構造として組み込まれたものと考えられている。サーカディアンリズムには、いくつかの特徴が知られる。その1つは、恒常環境条件下でリズムが持続することで、これをフリーランという。このフリーラン周期は、地球の自転周期、すなわち24時間とは異なる周期であることが知られている。地球上にこのような周期をもつ環境変動要因は知られていない。したがってフリーラン周期では、環境変動を反映しているのではなく、生物に内因性に備わっているものと理解されている。つまり、生体

内に何らかの時計構造があり、恒常環境下で固有の周期でフリーランすると考えられる。このような機構を概念的に生物時計あるいは生体時計という。サーカディアンリズムのもう 1 つの特徴は、同調能力にある。体内の生物時計が 24 時間リズムと異なるにもかかわらず、原則として地球の自転リズムの周期に合わせることが出来るのは、この同調能力によるものである。このような環境の同調因子つまり明暗に同調することを外的同調という。一方、同一の個体内のいくつかの生理現象たとえば、体温や血中ホルモン値などは、一定の位相関係を保っている。これを内的同調という。このような同調機能を調べることは、日内変動による生体時計の基本特性を調べることを意味する。

本研究では、人間のバイオフィトンといわれる自発性粒子の放出であるきわめて微弱な発光現象にも、日内変動が存在するのかについて検討した。

従来、生体エネルギーの日内変動を調べる検証方法²¹⁻²⁵⁾は、問診や心理テストなどの手法を用いているが、主観的な要素の影響が強く客観的評価を行うことは難しいとされていた。電気生理学的検査や生化学検査は、検査分析には多くの分析行程と時間を必要とする。

生物や生体組織で観測される非常に弱い生物発光で、通常、光子として検出されるバイオフィトンは、細胞の活動や、化学反応の度合いを示し、生命活動を知る上で重要な指標として注目される。バイオフィトンを指標とした検査は、非侵襲で検査時に身体への負担が少なく短時間の測定が可能で、光子の発光強度や発光面積などに非常に多くの生理情報が含まれていると考えられ、生体情報・健康情報の先端計測法として有用であると考ええる。

検証の結果、エネルギー指標の Area および Intensity の指標に日内変動が認められた覚醒時より 12 時間後の就寝時前までの測定において、律動性のある変動が示されサーカディアンリズムの存在が明らかとなった。

このエネルギー指標の Area および Intensity は、恒常的環境下において、フリーランするサーカディアンリズムが認められ、環境変動を反映しているものではないことから内因性に備わっている日内変動現象であることが示唆される。

さらに Area および Intensity の指標が示す日内変動は、心拍数、体温、唾液の免疫物質などと一定の位相関係が認められた。この現象は、内的同調といわれエネルギー指標の Area および Intensity の同調機能は、日内変動による基本的特性を示していると考えられる。覚醒時におけるエネルギーフィールド指標の Area および Intensity の平均値に対して、12 時間経過後の平均値を比較してみると、2 つの指標ともに有意に低くなっていることが明らかとなった。覚醒時 12 時間の日内変動は、顕著な変動が認められたが、内因性の体内時計であると仮定した場合、24 時間の脳神経活系の働きを司る自律神経の交感神経と副交感神経のコントロールのため、睡眠潜時に向かって自発性粒子の発光を減少していると推察される。唾液中の s-IgA においては、覚醒時の初期値より 3 峰性の日内変動が認められた。この変動は、律動性が認められたことからサーカディアンリズムであることが明らかとなった。このことから、生体内のエネルギー活性は覚醒時において一定の範囲で変動することが明らかとなった。s-IgA は、先行研究によって、内因性のサーカディアンリズムであること

が知られている。この s-IgA とエネルギーフィールド指標の Area、Intensity とは位相関係が認められることから、これらの指標は内的同調関係を有していると考えられる。Hacker et al.²⁶⁾ は、GDV フィールド指標の覚醒時(9:25-12:25)での時間経過および唾液中で測定された生化学的指標との間にも有意な相関関係があることを報告している。唾液の s-IgA は、日常生活における疲労度を反映していることは、数多く報告がみられる。また疲労と血中活性酸素との関係も数多く報告され、これらの指標は、サーカディアンリズムが存在することが知られている。

今回の検証において指標とした唾液の s-IgA の日内変動は、先行研究と同様の傾向を示しサーカディアンリズムが認められた。

このことから、人体の疲労レベルにも一定の日内変動が認められ、Area および Intensity との間に有意な相関関係が示すように位相関係が認められたことから、覚醒時におけるエネルギーフィールド指標の Area および Intensity の数値には、疲労度を反映しているともいえる。

以上の結果、GDV におけるエネルギーフィールド指標は、健康産業や医療の場において人の生体内エネルギーを数値化する指標として期待される。また、個体特有のサーカディアンリズムを簡易にとらえることができ、生体内活性度の視覚化に有用性が期待される。

Korotkov²⁷⁾によれば、GDV は、身体に有益とされる運動やセラピーなどを施す前後で生体エネルギーの変化や身体の緊張が解れて体内のエネルギーバランスが整えられることで、体外に放出される電氣的生体エネルギーを評価し、人間の健康状態を把握することができると述べている。GDV の特徴は、非侵襲・短時間の測定で身体への負担が少なく、データの蓄積が容易で生体の状態把握する上で、多くのデータから特性を知ることができることである。従来の手法に加えて、各個人の継続的測定による変化をひとつの指標とすることで、多様化、個別化する健康技術での新しい測定指標としての使用の可能性を有していると考えられる。

第5節【結 論】

本研究は、生体情報のバイオフィトン指標として、生体内のエネルギー変動に日内変動がどの程度認められるのか、また日内変動の律動性からサーカディアンリズムの存在が認められるのかについて検討した。さらに覚醒時より12時間の間に、どの程度生体内エネルギーが変動するのかについて検討した。研究参加者の生活活動レベルは、平均心拍 75.8 ± 9.2 beats/min、平均消費カロリー 936.4 ± 87.6 Kcal であり、生活活動強度はやや低いレベルであった。バイオフィトンのエネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、同一の個体内において別の生理現象と一定の位相関係が認められた。このことから、自発性粒子の放出である微弱な発光を示すバイオフィトンは、内因性のリズムであることが明らかとなった。唾液の s-IgA に日内変動が示されサーカディアンリズムが認められた。

以上の結果より、エネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、日内変動の数値の中に疲労やストレスが反映されていることが明らかとなった。従って、GDV によるバイオフィトンの生体内エネルギーの計測は、労働環境の変化により、働く人たちが抱える問題に対するケア、心の健康増進と維持、メンタルヘルス不調の予防対策として、新たな視点からの健康状態の評価法として期待される。

－第5章－

研究2

バイオフィトンからみる

運動時の生体内エネルギーに関する研究

第1節 【緒 言】

生物は、バイオフィトンといわれる自発性粒子の放出による極めて微弱な発光（赤外線～紫外線領域）をもっていることは、学術的にもよく理解されており、国内外の大学や生体エネルギー関連の研究機関で研究が行われている。バイオフィトンは、1930年代に、Gurwitch¹⁾によってはじめて測定され、生物における紫外線域での光子の交換による情報の調整のためであるということが証明された。外界刺激や生理代謝によって生体内での酸化的代謝過程における化学的励起された生体分子は、低エネルギー状態に移動することで起きるごく微少な発光であり、その発光強度は 10^{-16} W/cm² ($\sim 10^3$ photon/s·cm²) 程度以下の紫外域から可視、近赤外波長領域の発光である。生物の生命活動や各種生理作用に付随して観測される発光作用と理解されている³⁾。近年、この発光作用を検出する機器として Gas Discharge Visualization (GDV: 気体放電撮影機) が開発され、海外においては GDV によるバイオフィトンの臨床応用研究が数多く行われるようになった⁴⁻¹²⁾。通常、バイオフィトンは、光電子増倍管という装置を使用する必要があり、測定には、複雑なプロセスと手間が必要とされる。GDV はこの電磁界を利用して、皮膚からの電子の誘発を生じさせ、電子を何千倍に加速させることで生じる発光現象を撮影する技術として開発された。GDV は、自発性放出粒子と誘導性放出粒子の複合による発光現象を CCD カメラにより撮影している。生体のまわりに、電磁界を与えることにより、生体の皮膚表面から、電子と光子の放出を誘発し、誘発された電子と光子が、空気中の分子と衝突し、空気中の分子から電子を放出することで気体放電現象が生じ、光子の放出とともに青紫色の発光現象が伴い、この発光を CCD カメラで撮影をしている。この新しい計測手段を用いてのバイオフィトンの情報解析の研究が期待されているが、あまり進んでいない。

本研究では、生体情報のバイオフィトンを指標として、運動負荷を与えることにより生体内のエネルギー変動がバイオフィトンにおよぼす影響について検討することを目的とした。

第2節【方 法】

第1項 研究参加者

研究参加者は、18～22 歳までの医学的に健康と評価される健康な成人男生 25 名とし、表 1 に研究参加者の身体的特徴を示した。

研究参加者にはインフォームドコンセントとして本研究の趣旨を詳細に説明した後、生体負荷検査に参加する旨の承諾を得た。なお、本研究は大阪府立大学高等教育推進機構倫理委員会の承認を得たものである。

表 1．研究参加者の身体的特徴

n=25	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Mean	20.9	172.5	62.4	20.9
SD	1.2	5.6	8.2	2.0

第2項 検査項目

研究参加者の運動負荷による生体内エネルギー変動を検証するために、60 分のトレッドミルランニング前後での検査を行った。

運動負荷設定は運動強度指標として心拍と年齢から運動負荷を求める HRmax を採用した^{13,14)}。また運動負荷として 70 %HRmax を選択して実施し、運動時間については 60 分間とした。運動強度である %HRmax は Karvonen Formula に準じて算出し、最大心拍数 (HRmax : MaximumHeart Rate) の推定には ACSM (American College of Sports Medicine) が提唱する式を用いた¹⁵⁾。

- ・推定 HRmax : $220 - \text{年齢}$ ---①
- ・ %HRmax : $(\text{運動時心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times 100 (\%)$ ---②

運動負荷は、ヘルスジョガー HJ-5001 (中旺ヘルス社製) を用い、心拍数は汎用データ取得・解析システム IX-TA-220 (iWorx 社製) により行った。

トレッドミルランニング前後での検査は、バイオフォトン、secretory - Immunoglobulin A (s-IgA) タンパク比率および Profile of Mood States (POMS) の測定を行った。バイオフォトンの測定は、Gas Discharge Visualization (GDV : Kirlionics Technologirs

International 社製)¹²⁾を用いて行った。測定は、研究参加者の指を GDV レンズの上に置き、指とレンズの角度を 15～40° に保ち下記の順序で撮影した(図 1)。

1R：右手親指 2R：右手人差し指 3R：右手中指 4R：右手薬指 5R：右手小指
1L：左手親指 2L：左手人差し指 3L：左手中指 4L：左手薬指 5L：左手小指

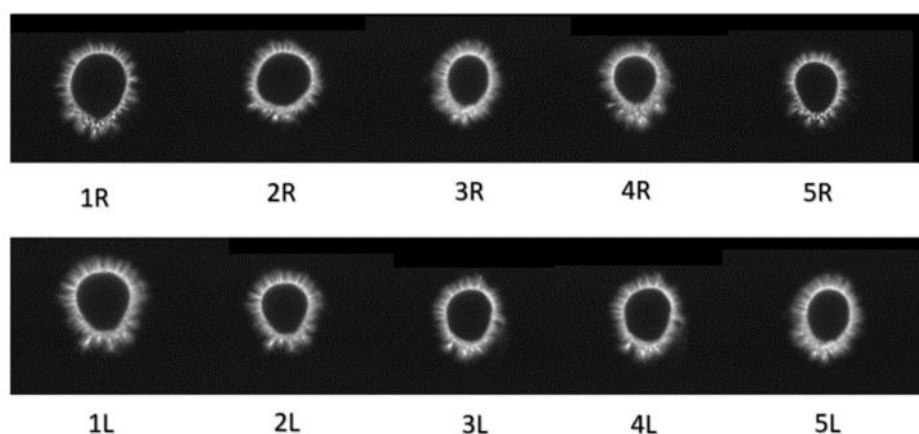


図 1．GDV による指からの電子発光画像

POMS の測定は、日本語版 POMS 短縮版検査用紙により行った。

第 3 項 分析方法

バイオフィォトン、エネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーツフトを用いて分析した。バイオフィォトンのエネルギーフィールド指標として Area、Intensity の値を算出した。Area は、発光面積で数値が高いと生体内エネルギー量が高いことを示す。Intensity は、発光強度で数値が高いと生体内エネルギー量および神経伝達能が高いことを示す。フォームコフィシエントは、形状抵抗係数で数値が高いと、エネルギー生産プロセス能が活性化していることを示す。s-IgA/蛋白比率の分析は、唾液を直接 50ml 遠沈管に採取し、1.5ml マイクロチューブに移し、15000rpm で 5 分間遠心分離した後、得られた上澄みを試料とした。s-IgA/蛋白比率値は、サンドイッチ酵素免疫測定法により測定し、Lowry 法により唾液中の蛋白濃度を測定し、s-IgA/protein を下記の式より算出した¹⁶⁻¹⁹⁾。

(唾液蛋白質中の s-IgA の割合) = (s-IgA 濃度) / (総タンパク質濃度) ——③

s-IgA 蛋白比率は、数値が高いとストレス抵抗性が高いことを示す。

気分に関するテストは、POMS 検査を通じて採点基準及び評価基準により、緊張・抑うつ・怒り・活気・疲労・混乱の 6 つの因子を分析した²⁰⁻²²⁾。

第4項 統計解析

全ての実験データは、ベルカーブ社製エクセル統計で計算した。

平均値の差の検定は、t-検定を行い、Cohen' sd による効果の大きさ (ES : Effect Size) を用いた。二変量の間をピアソン積率相関係数により検討した。統計的仮説検定の有意水準は5%とした。

第3節【結 果】

第1項 運動負荷強度

研究参加者 N. S. の運動負荷時の心拍数変動を図 2 に示した。研究参加者 N. S. の 70 %HRmax 運動負荷は、158 beats/min であった。運動負荷時の平均心拍数は、 156.4 ± 15.9 beats/min 測定時間内の最高心拍数は 167 beats/min 最低心拍数は 80 beats/min を示した。研究参加者全員の平均 70 %HRmax 運動負荷は、 159 ± 15.9 beats/min であった。運動負荷時の平均心拍数は、 157.8 ± 16.5 beats/min であった。

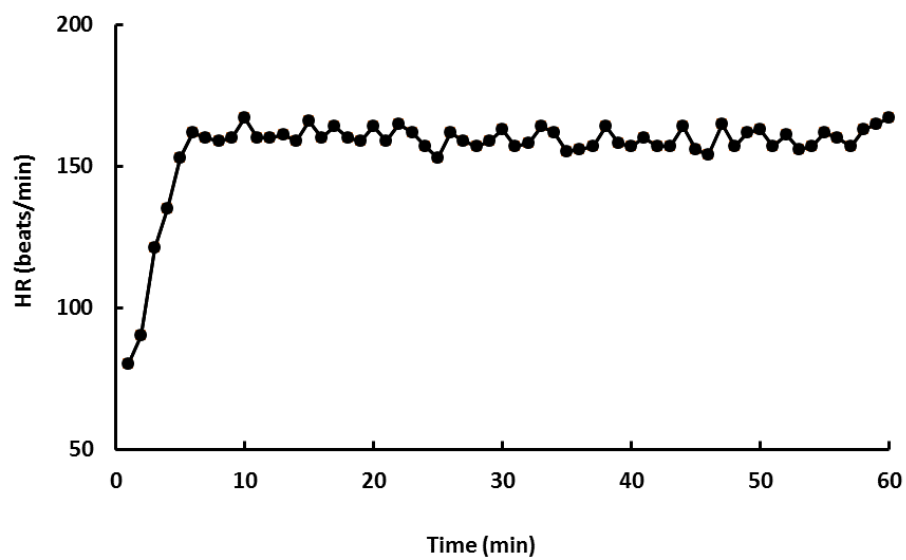


図 2. 運動負荷時における心拍数変動 (Subj. N. S.)

第2項 運動負荷時のバイオフィトン変動

バイオフィトンのエネルギー指標 Area、Intensity について分析をした。研究参加者全員のエネルギーフィールド指標の平均値について、Area は運動負荷前の 11995.4 ± 1217.1 pixel に対して、運動負荷後は 10831.4 ± 1012.1 pixel と、有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。運動負荷時における心身に与えられた疲労が、エネルギーフィールド指標の Area に有意な減少として示された(図3)。エネルギーフィールド指標の Intensity は、運動負荷前の 84.9 ± 4.4 arbitray units に対して、運動負荷後は 75.6 ± 7.0 arbitray units と、有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。運動負荷におけるさまざまな疲労が、エネルギーフィールド指標の Intensity に有意な減少として示された(図4)。

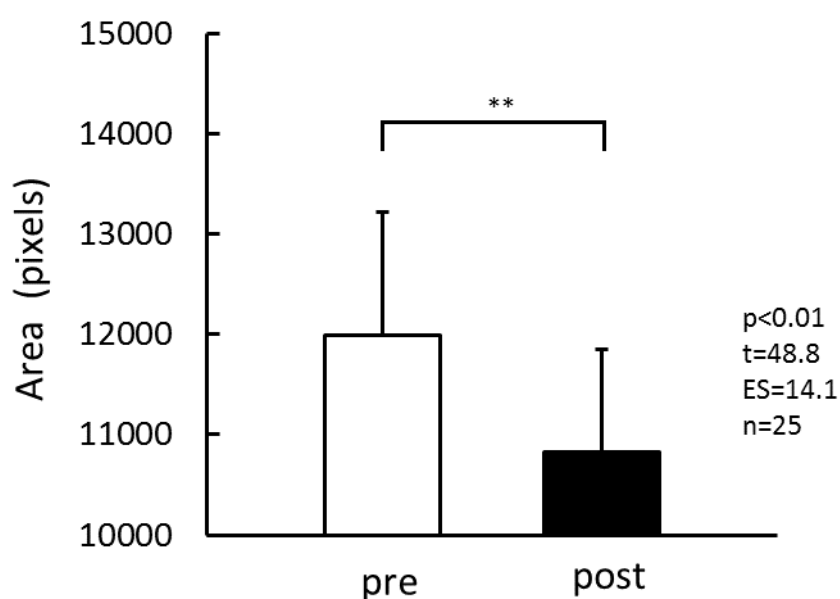


図3. バイオフィトンのエネルギーフィールド指標
Area の運動負荷前後の平均値

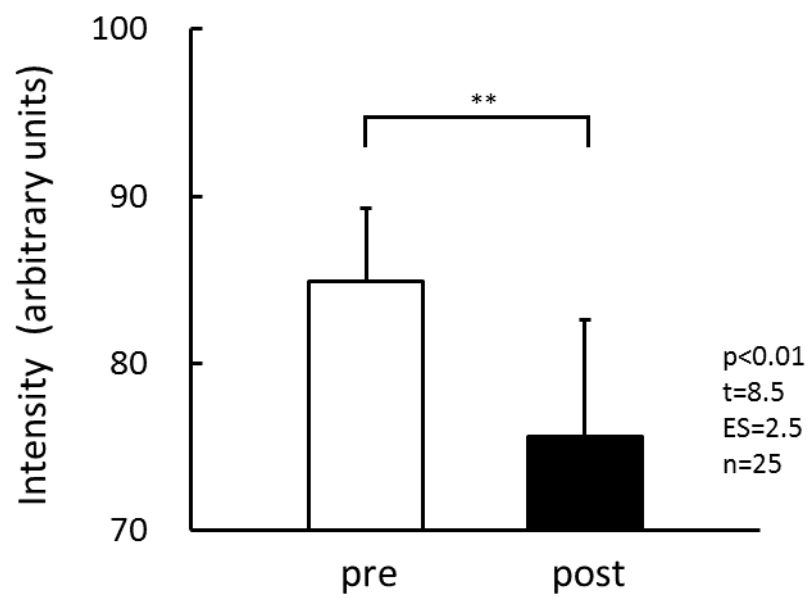


図4. バイオフィオンのエネルギーフィールド指標
Intensity の運動負荷前後の平均値

第3項 運動負荷時の s-IgA 変動

研究参加者全員の s-IgA/蛋白質量の平均値では、運動負荷前の 13.5 ± 0.8 % に対して、運動負荷後は 12.5 ± 1.0 % と有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。運動負荷時における心身に与えられた疲労が、唾液中の s-IgA/蛋白質量に有意な減少として示された(図5)。

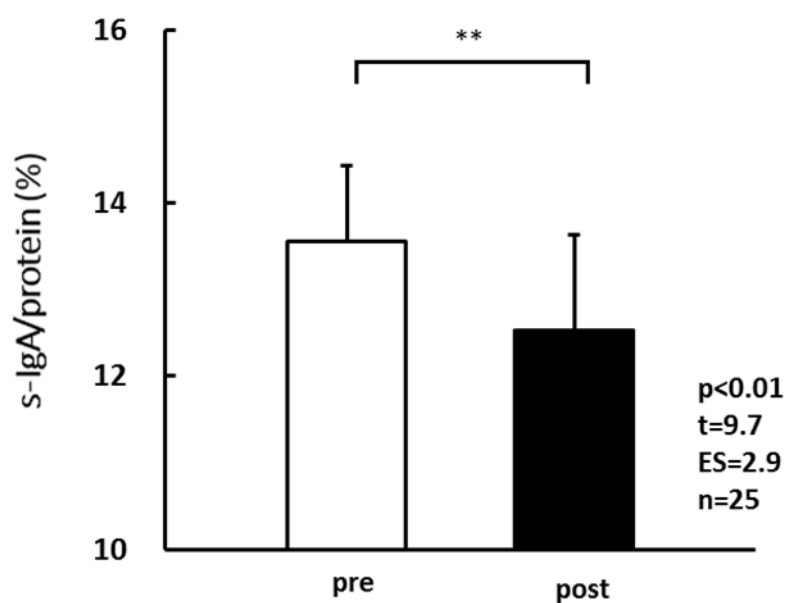


図5. s-IgA/protein の運動負荷前後の平均値

第4項 エネルギーフィールド指標と s-IgA との相関関係

バイオフィオトンのエネルギーフィールド指標と唾液中の s-IgA との相関関係を図6、7に示した。バイオフィオトンのエネルギー指標について Area と唾液中の s-IgA との間には有意な相関($r=0.54$, $p<0.05$)が認められた。また、Intensity については唾液中の s-IgA との間に有意な相関($r=0.55$, $p<0.05$)が認められた。

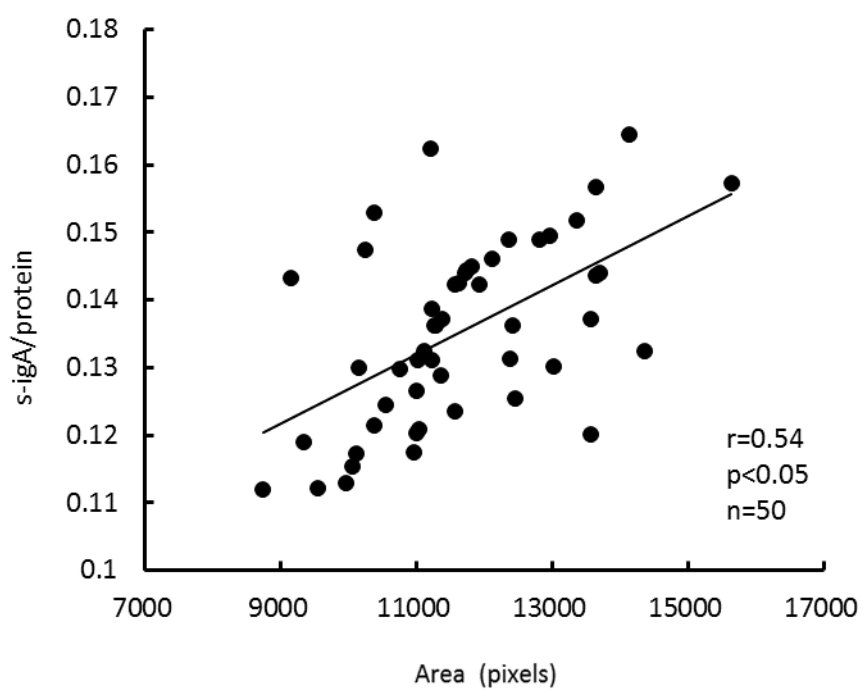


図6. Area と s-IgA との相関関係

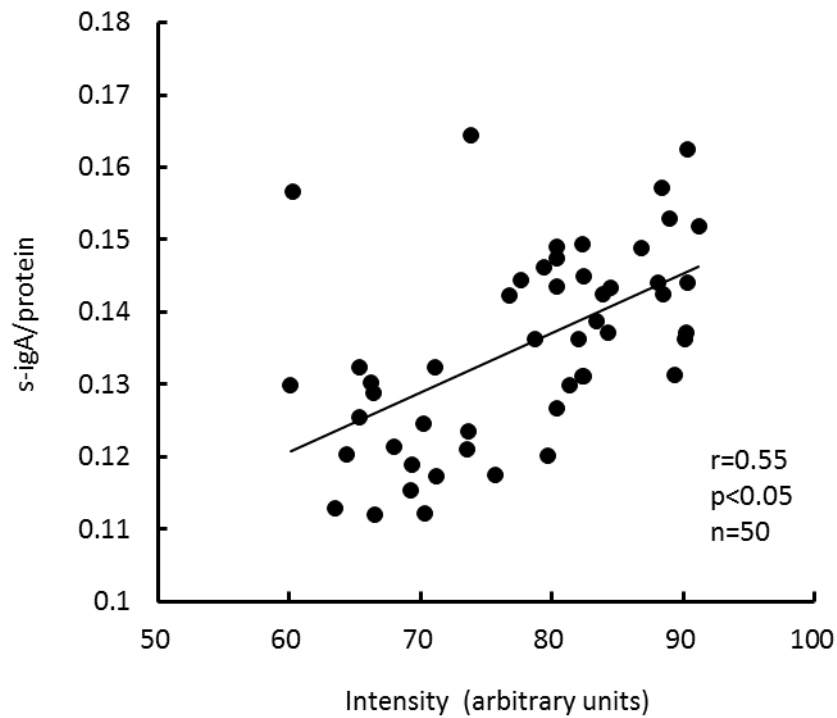


図7. Intensity と s-IgA との相関関係

第5項 運動負荷時のPOMS指標変動

POMS による気分の因子について、研究参加者全員の運動負荷前後に、気分の変化で得られた得点の平均値の有意差検定を行った。気分の変化6因子のうち、怒り因子において運動負荷前 48.8 ± 6.7 point に対して運動負荷後 44.4 ± 5.6 point と有意な ($p<0.01$) 減少を示し、また、疲労因子において、運動負荷前 47.5 ± 7.2 point に対して運動負荷後 52.44 ± 7.8 point と有意な ($p<0.05$) 増加を示した(図8)。

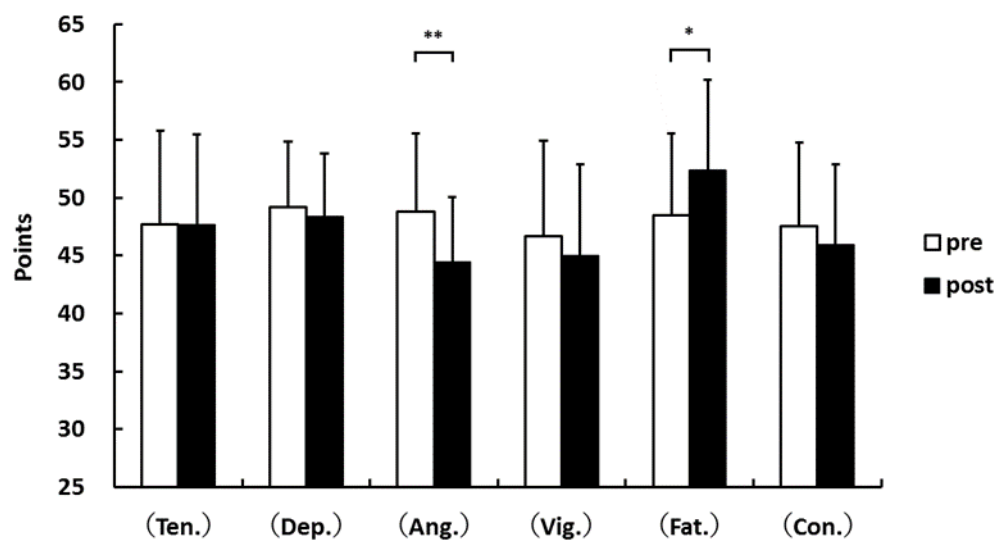


図 8. POMS の運動負荷前後の平均値

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

第4節 【考 察】

本研究においては、人間におけるバイオフィオトンの自発性粒子の放出であるきわめて微弱な発光現象に着目した。この発光は、生体内のエネルギー状態を間接的に示している。発光現象を検出するため Korotkov によって開発された GDV を使用し生体内のエネルギー状態を間接的にとらえた。そこで我々は、バイオフィオンを指標として運動負荷を与えることにより生体内のエネルギー状態の変動をどの程度とらえられることができるのかについて検証を試みた。

運動負荷による生体への適度な運動刺激は、健康の維持増進に有用であることが、多くの研究によって証明されている²³⁻²⁵⁾。過度の運動刺激などは機能障害や免疫能障害などの悪影響も指摘され²⁶⁻²⁹⁾、ストレスとして身体にさまざまな影響を及ぼすことが知られている。ストレスの概念は1936年にSelyeにより提唱され、ストレス刺激の種類、強度および運動する者の心身状態が、身体への刺激レベルの適正度を判断する指標になるとされている。運動による生体情報の生理指標としては、酸素摂取量がある。酸素摂取量と心拍数とは相関関係があり生体負担度や運動強度の指標として広く用いられてきた²⁸⁻³²⁾。その後、生理活性物質がストレス応答の生体反応指標として用いられるようになった。

心理的側面でのストレス応答の評価方法は、心理テストや問診による主観的評価方法が用いられるようになった。代表的な指標として、緊張・抑うつ・怒り・活気・疲労・混乱の6つの因子を同時に測定するPOMS (Profile of Mood State)、臨床心理学的な観点から精神的な状態が関与する程度を測定するCMI (Cornell Medical Index)、SCL (Stress Check List)、自律神経の興奮などを伴う状態不安やストレス状況の中で状態不安を生み出す個人内特性を測定するSTAI (State-Trait Anxiety Inventory) がある。

電気生理信号を統計的、動力学的に解析する手法として心電図、血圧、指尖脈波、呼吸活動、皮膚温、発汗による皮膚電気活動、瞳孔径、脳電図などがある。血液や唾液などの生体試料中のストレス関連物質を計測する生化学手法として交感神経－副腎髄質系由来の生理活性物質として唾液 α -アミラーゼ、急性のストレスにおいて大脳－視床下部－下垂体－副腎皮質系経路の活性化が高まり分泌が増えるコルチゾール、ストレスや情動に関連があるs-IgAなどがある。特に、唾液中に分泌される物質は非侵襲的に検査可能であることより注目されている。粘膜免疫系の生理活性物質s-IgAは口腔内、呼吸器及び消化器の粘膜面に存在する抗体分子である。また、粘膜面は外界と接し、細菌やウイルスの侵入にさらされ、s-IgA分泌量は身体を感染から守る上で非常に重要である^{33,34)}。

これらのストレスを調べる検査では、問診や心理テストなどの手法では、主観的な要素の影響が強く客観的評価を行うことは難しい。電気生理学的検査や生化学検査では、検査分析には多くの分析行程と時間を必要とする³⁵⁻⁴⁰⁾。生物や生体組織で観測される非常に弱い生物発光で、通常、光子として検出されるバイオフィオンは、細胞の活動や、化学反応の度合

いを示し、生命活動を知る上で重要な指標として注目される。

バイオフィotonを測定する機器として GDV の特徴は、非侵襲・短時間の測定ができ、身体への負担が少なくデータの蓄積が容易で、生体の状態把握する上で、多くのデータから特性を知ることができる。従来の手法に加えて、各個人の継続的測定による変動をひとつの指標とすることで、多様化、個別化する健康技術での新しい測定指標としての使用の可能性を有していると考えられる。

バイオフィotonを指標とした検査は、非侵襲で検査時に身体への負担が少なく短時間の測定が可能で、光子の発光強度や発光面積などに非常に多くの生理情報が含まれていると考えられ、生体情報・健康情報の先端計測法として有用であると考ええる。

検証の結果、数値が高いと、エネルギー量が高いことを示す Area および Intensity の指標について運動負荷後での有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。すなわち運動負荷時における心身に与えられた疲労が、エネルギーフィールド指標の Area および Intensity の減少をもたらすことが明らかとなった。唾液中の s-IgA/蛋白質量は、運動負荷後での有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。このことにより運動負荷時における心身に与えられた疲労が、唾液中の s-IgA/蛋白質量の減少をもたらすことが明らかとなった。POMS による気分の因子は、運動負荷後で怒りの因子について有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。疲労の因子については、有意な ($p < 0.05$) 増加が認められた。したがって運動負荷における心身に与えられた疲労が、疲労因子の有意な増加をもたらすことが明らかとなった。

エネルギーフィールド指標の Area、Intensity と s-IgA とは、図 6、7 で示すようにそれぞれの指標間に有意な ($p < 0.01$) 相関関係が認められた。Hacker et al.⁴¹⁾ は、GDV フィールド指標と唾液中で測定された生化学的指標との間に有意な相関関係があることを報告しており同様の結果が得られた。また、唾液の s-IgA が、日常生活や運動における疲労度を反映していることを数多く報告⁴²⁻⁴⁵⁾ がある。今回の検証において指標とした Area、Intensity は、運動による人体の疲労を反映しているといえる。

以上の結果、GDV によるエネルギーフィールド指標は、医療やスポーツの場において、

生体内エネルギーの変動や健康状態を数値化する新たな視点からの評価法として、期待される。

第5節 【結 論】

本研究は、生体情報のバイオフィオンを指標として、運動負荷を与えることにより生体内のエネルギー変動がどの程度認められるのかを検討した。

健康な成人男性 25 名を研究参加者とし、運動負荷はトレッドミルによる 70 %HRmax レベルのランニングを 1 時間行った。研究参加者全員の平均 70 %HRmax 運動負荷は、 159 ± 15.9 beats/min であった。運動負荷時の心拍数は、平均 157.8 ± 16.5 beats/min であった。エネルギーフィールド指標の Area、Intensity の平均値は、初期値に対して有意な減少 ($p < 0.05$) が認められた。唾液の s-IgA は、初期値に対して有意な減少 ($p < 0.05$) が認められた。POMS の平均値において、初期値に対して怒りに 1 % 減少、疲労に 5 % の増加が認められた。Area および Intensity と唾液中の s-IgA との相関関係にそれぞれ有意な関係が認められた。運動負荷によるバイオフィオンの評価は、唾液の s-IgA、POMS 検査と同様の結果が得られたことより疲労やストレスが反映されていることが明らかとなった。

以上のことから、身体の調子をよい状態に整えるコンディショニングの生体情報として、GDV によるバイオフィオンの生体内エネルギーの計測は、「健康づくり」のための運動処方作成に重要なものであると期待される。

－第6章－

研究3

バイオフィトンからみた長期低強度
運動処方が体力におよぼす影響に関する研究

第1節【諸 言】

運動習慣は、慢性疾患の予防やその進行の防止に役立ち、健康増進にも重要な役割を果たしているとの報告は多い¹⁻⁵⁾。しかし、どのような運動をどの程度実施すれば効果があるとの報告は乏しい。先行研究で提唱されている運動処方⁶⁻⁸⁾の多くは、実験室内の人工条件下において、物理的作業負荷によるものが多い。通常、運動処方は特殊な環境下ではなく、日常生活の中で継続的に行うことにより、日常運動として習慣化させることが可能となる。特に、運動習慣の少ない中高年者については、健康管理の上からも運動の習慣化は重要な課題となる。中高年者に対する運動処方を行う場合、日常生活の中で実践可能な運動の種類と適切な身体刺激水準の設定が大切である。運動の強さは、処方効果に最も影響を与えられ、中高年者に対しても中程度以上の強さで実施されることが多かった⁶⁻⁸⁾。このために苦痛や障害などが起こり、運動の継続が拒否されるケースが多くみられた。従って、身体適応能の向上をねらいとした運動処方は、日常生活レベルの強度で、長期間にわたり継続できる方法を考慮する必要があると考えられる。本研究では、Physical fitness を高めるため、日常生活の運動水準で安全性を考慮した長期間にわたる運動処方を実施した。その効果は、生理学的パラメータに加えて Korotkov⁹⁻¹³⁾によって開発された GDV を使用して新たなバイオフィトンで評価した。GDV 装置は、科学的研究の再現性と感度要求を満たすように設計されたキルリアン効果に基づいて、10本の指の先端から誘発されたコロナ放電を記録することができる。コンピュータ画像分析を適用することによって、電子フォトリックグローのデジタル写真が、記録されたフラッシュのサイズおよび分布に基づいていくつかの便宜的なパラメータに変換され、補完的な医学的分析が可能である。GDV は、ストレス要因¹⁴⁻¹⁶⁾に対するストレス反応を検出するために、すべての指のグロー画像領域を繰り返し記録する算術手段を使う。

GDV は、バイオフィトンによって示される生体内エネルギー活性を理解する必要がある。GDV は生体内のエネルギーの変化を動的に観測し、電磁的な技術を用いた生体の電子反応を解析して有機物の性質を解析することにより定量化し評価する量子物理検証法である。生体では、これは表皮および皮下の結合タンパク質の分子中で非局在化する「励起電子」を指し、無生物であっても励起電子の増加はエネルギー状態の増加を示す。GDV 技術は、無生物や生体を電磁場で発光させてエネルギーレベルを評価する。この発光は、生体内の励起状態の電子と関連していることが報告されている^{17,18)}。

これらの励起電子は、生体内エネルギーのベースであるアデノシン三リン酸 (ATP) および活性酸素と深く関連している。GDV の分析によって得られた心身状態の評価は、身体全体の健康指数とみなすことができる。基本的な評価指標として面積と強度を利用して得られる指標は、環境と心身の状態を考慮して解釈する必要がある。面積と強度は、物理的に光子のエネルギーに関連していると解釈され、予備エネルギーとして定義され、保持されたエネ

ルギーとして変換される。面積と強度は、通常、心身の正常な機能状態のレベルに比例する。従って、人が快適な睡眠を有する場合、誘発された光子のレベルが上昇し、発光面積と発光強度が増加する。身体のエネルギー状態の改善に基づいて、体全体の健康状態を物理的方法で証明することが可能になった。

バイオフィォトンは、生活活動を知る重要な指標として注目されている。

GDV による検査は非観血的であり、検査時に短時間で体内負荷を測定でき、光子の発光強度や発光面積などには多くの生理情報が含まれていると考えられており、生物・健康情報の測定方法として高い可能性を有することが期待される。

GDV によるバイオフィォトンの研究は、アメリカやロシアを中心に行われ、応用物理学会など関係学会で数多く発表されている¹⁷⁻¹⁹⁾。現在では特に欧米の医療施設で、診断の目的で普及している。

日本ではまだ研究の緒についたばかりで生体内エネルギーへのバイオフィォトンに関する発表は行われていない。特に日本人を対象とした研究は殆どみられない。

日常生活において健康長寿実現に効果的な運動処方を確立するため、健康な成人男性 30 名を対象に、低強度での運動処方を 12 か月間継続的に実施し、運動による生体へおよぼす影響についてバイオフィォトンを用いて検討した。

第2節【方 法】

第1項 研究参加者

研究参加者は、40～55歳の健康な男性30名とした。日常生活の中で処方に従って運動する Training group (T群) と積極的な運動を行わない Non training group (NT群) の2群(各15名)に分けた。

その後、本研究の趣旨をよく説明し理解を得て長期間にわたり参加を得られることを確認した。被験者の年齢、身長、体重およびBMIは、両群間に有意な差は認められなかった。なお、本研究は大阪府立大学高等教育推進機構倫理委員会の承認を得たものである。

第2項 検査項目

1. 運動負荷検査

研究参加者には、メディカルチェックとして、形態、心電図、血圧、呼吸機能検査を行い日本人の同年齢の平均値²⁰⁾の2SD以内にあることを確認した。呼吸循環器機能を把握するため、酸素摂取量の測定を行った。安静時の代謝は、椅座位、仰臥位、立位の姿勢を各5分ずつとらせ、最後の1分間に酸素摂取量(VO_2)と心拍数(HR)を測定した。活動時代謝を知るために運動負荷検査を行った。運動負荷はトレッドミル(中旺ヘルス社製：HJ-5001)を用い、速度漸増負荷法で行った。負荷に伴う検査は、トレッドミル歩行60 m/minから20 m/minずつ漸増させ140 m/minまで VO_2 とHRを測定した。心電図と呼気ガスは、代謝測定システム装置(iWork Systems Inc.社製：IX-TA-220)により測定し、データ入力・解析を行った。

2. 1日の消費エネルギー量(Daily Energy Expenditure)の算出

1) 心拍数測定

心拍数の記録にはWristableGPS:SF-810(EPSON社製)を用いた。24時間記録した心拍数は、データ処理用NeoRunを介して、1日の心拍数を求め解析した。

2) 消費エネルギーの算出

運動負荷検査から得られた VO_2 -HR関係式と24時間心拍数^{21, 22)}により総酸素摂取量を算出し、総消費エネルギー量を算出した。

3. 運動処方

T群に対する運動処方は、日常生活において週3回の頻度で1日30分間、屋外での歩行とした。各個人の運動負荷設定は、運動強度指標として心拍数と年齢から運動負荷を求める%HRmax(Maximum Heart Rate)を採用した^{23, 24)}。%HRmax運動強度は、Karvonen

Formula²⁵⁾に準じて算出し、HRmax の推定には ACSM (American College of Sports Medicine) が提唱する式を用いた²⁶⁾。

- ・ 推定 HRmax : $220 - \text{年齢}$ --- ①
- ・ %HRmax : $\frac{(\text{運動時心拍数} - \text{安静時心拍数})}{(\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数})} \times 100 (\%)$ --- ②

60%HRmax レベルのコントロールは、WristableGPS:SF-810 により行った。運動処方期間は 12 か月間とした。

第 3 項 分析方法

3 か月ごとに以下に示す項目を測定し運動処方の効果を評価した。

1) 身体計測

身長、体重、Body mass index (BMI)、%fat (フィットネスアナライザー:ケツト科学研究所製:BFT-2000)、血圧 (水銀血圧計:ケンツメディコ社製:No. 600 YAMASU) を測定した。

2) 呼吸循環器系機能

60 %HRmax 負荷時の酸素摂取量および酸素脈 (O_2 Pulse)、酸素摂取率 (O_2 removal) を算出した。

3) バイオフィトン

バイオフィトンの測定は、Gas Discharge Visualization (GDV:Kirlionics Technologirs International 社製)²⁷⁾ を用いて行った。検査は、被験者の指を GDV レンズの上に置き、指とレンズの角度を $15 \sim 40^\circ$ に保ち下記の順序で撮影した (図 1)。

1R：右手親指 2R：右手人差し指 3R：右手中指 4R：右手薬指 5R：右手小指
1L：左手親指 2L：左手人差し指 3L：左手中指 4L：左手薬指 5L：左手小指

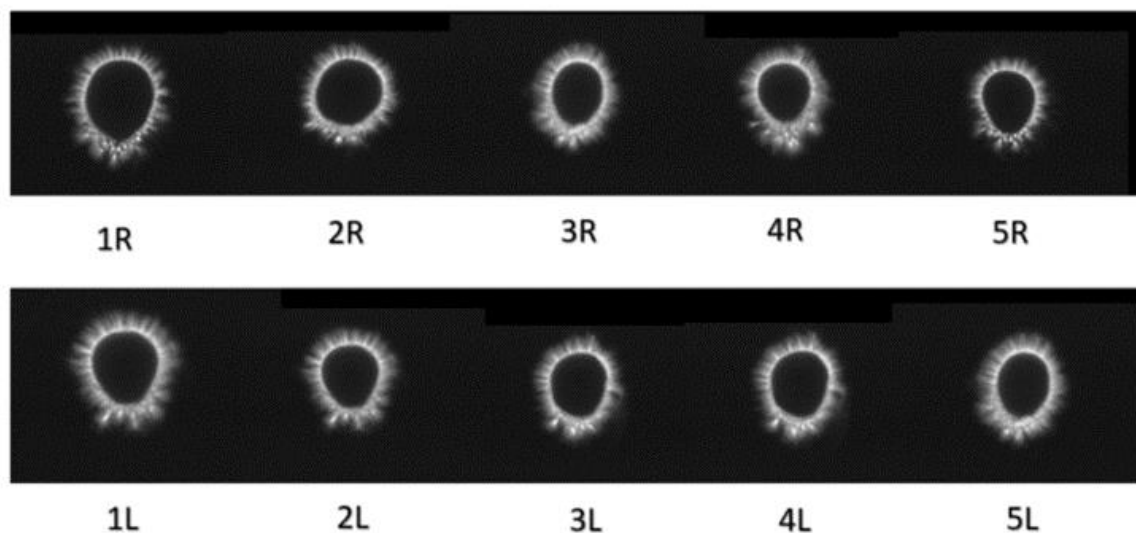


図 1．GDV による指からの電子発光画像

バイオフィオトンの分析は、エネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて分析した。バイオフィオトンのエネルギーフィールド指標として Area および Intensity の値を算出した。Area を指標として生体内エネルギー量を、Intensity を指標として生体内エネルギー量および神経伝達能をそれぞれ評価した。

第 4 項 統計解析

実験データは、エクセル統計(ベルカーブ社製)で計算した。

統計解析は、Dunnett 法による多重比較検定およびピアソンの相関係数を用いた。統計的仮説検定の有意水準は 5%とした。

第3節【結果】

第1項 至適歩走行速度に相当する心拍数レベルの設定

60 m/min の歩行速度から 20 m/min ずつ漸増させ、最大限に速く歩いた時までの酸素需要量を検査した。酸素需要量は、速度と指数関数関係を保って増加し、本研究では、80 m/min で最小を示した。さらに歩行速度が速くなると限界が生じ走行となった。限界速度は、平均 128 ± 8 m/min であった。本研究での至適歩走行速度に相当する心拍レベルは 130 ~140 beats/min であった。この心拍数レベルは、60 %HRmax に相当した。

第2項 1日の消費エネルギー量

運動処方時の平均 HR は 130.6 ± 8.6 beats/min であった。HR 連続記録より算出した1日の消費エネルギー量を表1に示した。T群の消費エネルギー量は、初期値 2046.2 ± 169.4 Kcal、3か月 2371.1 ± 88.5 Kcal、6か月 2373.8 ± 75.8 Kcal、9か月 2366.1 ± 95.9 Kcal、12か月 2394.8 ± 134.7 Kcal であった。NT群の消費エネルギー量は、初期値 2040.1 ± 139.5 Kcal、3か月 2091.7 ± 103.3 Kcal、6か月 2093.6 ± 94.1 Kcal、9か月 2083.5 ± 135.3 Kcal、12か月 2085.9 ± 154.6 Kcal であった。Dunnett法の多重比較検定の結果、T群の3、6、9、12か月の消費エネルギー値は、初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。3、6、9、12か月の消費エネルギー値は、NT群よりもT群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。

第3項 生理学的パラメータ

生理的パラメータの変化を表1に示した。T群の%Fatは、初期値 20.6 ± 1.6 %、3か月 25.3 ± 1.3 %、6か月 23.7 ± 1.3 %、9か月 22.9 ± 1.6 %、12か月 22.5 ± 1.5 % であった。NT群の%Fatは、初期値 25.9 ± 1.4 %、3か月 25.7 ± 1.6 %、6か月 25.9 ± 1.5 %、9か月 25.8 ± 1.4 %、12か月 25.7 ± 1.2 % であった。Dunnett法の多重比較検定の結果、T群の6、9、12か月の%Fat値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。6、9、12か月の%Fat値はNT群よりもT群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T群のBMIは、初期値 27.5 ± 1.6 (kg/m²)、3か月 26.7 ± 1.5 (kg/m²)、6か月 24.9 ± 1.7 (kg/m²)、9か月 23.9 ± 2.0 (kg/m²)、12か月 22.8 ± 1.6 (kg/m²) であった。NT群は、初期値 27.4 ± 1.4 (kg/m²)、3か月 27.2 ± 1.3 (kg/m²)、6か月 27.4 ± 1.5 (kg/m²)、9か月 27.3 ± 1.4 (kg/m²)、12か月 27.2 ± 1.2 (kg/m²) であった。Dunnett法の多重比較検定の結果、T群の6、9、12か月のBMI値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。6、9、12か月のBMI値はNT群よりもT群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T群のVO₂/kg/minは、初期値 21.7 ± 1.8 (ml/kg/min)、3か月 22.7 ± 1.6 (ml/kg/min)、

6 か月 22.8 ± 1.5 (ml/kg/min)、9 か月 24.2 ± 1.0 (ml/kg/min)、12 か月 24.6 ± 0.7 (ml/kg/min) であつた。NT 群は、初期値 21.8 ± 1.5 (ml/kg/min)、3 か月 22.0 ± 1.1 (ml/kg/min)、6 か月 22.2 ± 1.0 (ml/kg/min)、9 か月 22.2 ± 1.4 (ml/kg/min)、12 か月 22.2 ± 1.6 (ml/kg/min) であつた。Dunnett 法の多重比較検定の結果、T 群の 9、12 か月 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。9、12 か月の $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T 群の O_2 pulse は、初期値 7.5 ± 0.6 (ml/beat)、3 か月 7.9 ± 0.6 (ml/beat)、6 か月 7.8 ± 0.4 (ml/beat)、9 か月 8.3 ± 0.2 (ml/beat)、12 か月 8.5 ± 0.3 (ml/beat) であつた。NT 群は、初期値 7.6 ± 0.5 (ml/beat)、3 か月 7.6 ± 0.4 (ml/beat)、6 か月 7.7 ± 0.3 (ml/beat)、9 か月 7.7 ± 0.5 (ml/beat)、12 か月 7.6 ± 0.6 (ml/beat) であつた。Dunnett 法の多重比較検定の結果、T 群の 9、12 か月の O_2 pulse 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。9、12 か月の O_2 pulse 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T 群の O_2 removal は、初期値 30.7 ± 1.8 (ml/kg/min)、3 か月 31.7 ± 1.6 (ml/kg/min)、6 か月 32.0 ± 2.4 (ml/kg/min)、9 か月 33.9 ± 1.2 (ml/kg/min)、12 か月 34.4 ± 1.4 (ml/kg/min) であつた。NT 群は、初期値 30.8 ± 1.5 (ml/kg/min)、3 か月 31.0 ± 1.1 (ml/kg/min)、6 か月 31.2 ± 1.0 (ml/kg/min)、9 か月 31.2 ± 1.4 (ml/kg/min)、12 か月 31.0 ± 1.6 (ml/kg/min) であつた。Dunnett 法の多重比較検定の結果、T 群の 9、12 か月の O_2 removal 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。9、12 か月の O_2 removal 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T 群の Systolic blood pressure は、初期値 161.9 ± 3.9 (mmHg)、3 か月 160.5 ± 4.7 (mmHg)、6 か月 159.7 ± 4.1 (mmHg)、9 か月 157.1 ± 3.3 (mmHg)、12 か月 154.3 ± 3.3 (mmHg) であつた。NT 群は、初期値 161.9 ± 3.5 (mmHg)、3 か月 162.2 ± 4.8 (mmHg)、6 か月 161.7 ± 3.4 (mmHg)、9 か月 162.9 ± 3.6 (mmHg)、12 か月 163.1 ± 3.9 (mmHg) であつた。Dunnett 法の多重比較検定の結果、T 群の 6、9、12 か月の Systolic blood pressure 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。6、9、12 か月の Systolic blood pressure 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。

第 4 項 物理学的パラメータ

物理的解釈では、Area の変化はフォトンの持つエネルギーに関係すると考えられて、functional reserve energy と定義されている。生体における変化の持つ意味は、Area が大きくなれば、機能エネルギーとエネルギー伝達が向上したことを意味する。T 群の Area は、初期値 11273.8 ± 748.5 pixel、3 か月 11282.3 ± 844.3 pixel、6 か月 11913.3 ± 419.4 pixel、9 か月 12055.8 ± 551.9 pixel、12 か月 12261.5 ± 510.1 pixel であつた。NT 群は、初期値 11022.4 ± 556.1 pixel、3 か月 10973.3 ± 826.9 pixel、6 か月 11107.6 ± 668.6 pixel、9 か月 11299.8 ± 1062.1 pixel、12 か月 11011.7 ± 689.2 pixel であつた。Dunnett 法を用いた多重比較検定より T 群の 6、9、12 か月の Area 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。6、9、12 か月の Area 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。T

群の Intensity は、初期値 73.1 ± 2.9 arbitrary unit、3 か月 74.9 ± 2.8 arbitrary unit、6 か月 75.4 ± 2.7 arbitrary unit、9 か月 78.0 ± 4.2 arbitrary unit、12 か月 79.9 ± 2.6 arbitrary unit であった。NT 群は、初期値 72.3 ± 4.0 arbitrary unit、3 か月 72.9 ± 3.3 arbitrary unit、6 か月 72.2 ± 3.9 arbitrary unit、9 か月 72.8 ± 3.3 arbitrary unit、12 か月 73.8 ± 3.7 arbitrary unit であった。T 群の 6、9、12 か月の Intensity 値は初期値よりも有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。6、9、12 か月の Intensity 値は NT 群よりも T 群の方が有意に ($p < 0.05$) 高値を示した(表 1)。

表.1 生理的パラメータと物理的パラメータの変化（1日の総エネルギー消費量、%Fat、BMI、体重あたりの酸素摂取量、酸素脈、収縮期血圧、収縮期血圧、Area、Intensity）

			Before	3month	6month	9month	12month	post-hoc
Daily total energy consumption (Kcal)	T	M	2046.2	2371.1	2373.8	2366.1	2394.8	
		SD	169.4	88.5	75.8	95.9	134.7	Before<3,6,9,12month
	NT	M	2040.1	2091.7	2093.6	2083.5	2085.9	3,6,9,12month:T>NT
		SD	139.5	103.3	94.1	135.3	154.6	
%Fat (%)	T	M	26.0	25.3	23.7	22.9	22.5	
		SD	1.6	1.3	1.3	1.6	1.5	Before<3,6,9,12month
	NT	M	25.9	25.7	25.9	25.8	25.7	3,6,9,12month:T<NT
		SD	1.4	1.6	1.5	1.4	1.2	
BMI (kg/m ²)	T	M	27.5	26.7	24.9	23.9	22.8	
		SD	1.6	1.5	1.7	2.0	1.6	Before>3,6,9,12month
	NT	M	27.4	27.2	27.4	27.3	27.2	3,6,9,12month:T<NT
		SD	1.4	27.2	27.4	27.3	27.2	
Oxygen up take per weight (ml/kg/min)	T	M	21.7	22.7	22.8	24.2	24.6	
		SD	1.8	1.6	1.5	1.0	0.7	Before<3,6,9,12month
	NT	M	21.8	22.0	22.2	22.2	22.0	3,6,9,12month:T>NT
		SD	1.5	1.1	1.0	1.4	1.6	
Oxygen pulse (ml/beat)	T	M	7.5	7.9	7.8	8.3	8.5	
		SD	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	Before<3,6,9,12month
	NT	M	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	3,6,9,12month:T>NT
		SD	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	
Oxygen removal (ml/kg/min)	T	M	30.7	31.7	32.0	33.9	34.4	
		SD	1.8	1.6	2.4	1.2	1.4	Before<3,6,9,12month
	NT	M	30.8	31.0	31.2	31.2	31.0	3,6,9,12month:T>NT
		SD	1.5	1.1	1.0	1.4	1.6	
Changes of Systolic blood pressure (mmHg)	T	M	161.9	160.5	159.7	157.1	154.3	
		SD	3.9	4.7	4.1	3.3	3.3	Before>3,6,9,12month
	NT	M	161.9	162.2	161.7	163.1	163.1	3,6,9,12month:T<NT
		SD	3.5	4.8	3.4	3.9	3.9	
Area (pixel) (pixel)	T	M	11273.8	11282.3	11913.3	12055.8	12261.5	
		SD	748.5	844.3	419.4	551.9	510.1	Before<3,6,9,12month
	NT	M	11022.4	10973.3	11107.6	11299.8	11011.7	3,6,9,12month:T>NT
		SD	556.1	826.9	668.6	1062.1	689.2	
Intensity (abitrary unit)	T	M	73.1	74.9	75.4	78.0	79.9	
		SD	2.9	2.8	2.7	4.2	2.6	Before<3,6,9,12month
	NT	M	72.3	72.9	72.2	72.8	73.8	3,6,9,12month:T>NT
		SD	4.0	3.3	3.9	3.3	3.7	

Note)T:Training group, NT:Non training group, M:Mean, SD:Standard Diviation

第 5 項 生理学的パラメータと物理学的パラメータの関係

両パラメータ間の有意性について検討した。Area、Intensity は、消費エネルギー量、 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 、 O_2pules 、 $\text{O}_2\text{removal}$ において有意な ($p<0.05$) 相関関係が認められた。 $\%\text{fat}$ 、BMI、Blood については有意な相関関係が認められなかった (表 2)。

表 2. 生理学的パラメータと物理学的パラメータの関係

n=150	Daily total energy consumption	%Fat	BMI	Oxygen up take per weight	Oxygen pulse	Oxygen removal	Systolic blood pressure
Area	0.64*	0.06	-0.22	0.67*	0.65*	0.66*	-0.07
Intensity	0.59*	-0.13	-0.21	0.61*	0.62*	0.69*	-0.05

* $p<0.05$

第4節【考 察】

健康長寿を目的とした運動処方的重要性が強調されるにつれ、生理学的に有効な運動刺激の方法や具体的運動処方に関する研究が行われている²⁸⁻³¹⁾。健康長寿に運動刺激がなぜ重要な意味を持つのかについては、単に寿命が長くなることだけではない。Physical fitness の持つ本来の意味が理解されてきたことによる。つまり、運動刺激による心身の示す反応が、人類の生存目的である種の保存に関する能力の中で、最も重要と考えられる環境に適応する能力 Physical fitness を保存もしくは向上させることを意味しているからである。健康長寿実現に効果的な運動処方を作成する場合、日常生活の中では、心身が活性化する条件を考慮することが大切であるといえる。ここでいう運動処方とは、1日の生活全体の中で位置づけられる処方を意味している。その処方を、日常生活の中で習慣化しなければ意味がない。運動の習慣化のためには、自由で楽しく安全であること、そしてその効果や進歩が自覚できる条件設定が重要である。本研究では、日常生活レベルの運動刺激で、日常環境の中で安全に12か月間継続できる最も簡易な運動処方を行った。対象者は、健康な成人男性30名とした。このような長期間におよぶ研究においては、処方を継続することが重要な課題となるが、本研究では対象者全員が12か月間の継続を可能とした。日常生活全体を対象とした運動処方を検討する場合、まず24時間の消費エネルギー量を算出する方法が重要となる。本研究では心電図のHRから1日の消費エネルギー量を算出する方法を採用した。HRを指標とする場合には、対象の健康状態や活動水準、あるいは体温の変化や情動の影響も受けやすく、外部環境条件の影響も少なくないことを考慮しておく必要がある³²⁾。

HR法による対象者全員の処方前における1日の消費エネルギー量は、平均 2043.2 ± 152.5 kcalとなった。運動処方実施に伴って1日の消費エネルギー量は、 2394 ± 134.7 kcalに増加した。この値は同年齢のエネルギー所要量³²⁾の生活強度Ⅲ（わずかに高いが適度な）段階に区分される。

運動処方が1日の消費エネルギー量に与える影響についてみると、処方での消費エネルギー量（ 295.5 ± 139 kcal）だけではなく、余剰消費エネルギー量（ 55.5 ± 8.9 kcal）も増加していることが明らかとなった。今回の運動処方は、一過性の身体刺激にとどまらず、日常生活全体の活性化という波及効果が加わっていることが考えられる。従来の運動処方に関する研究の多くは、中程度の強度により3か月以内の短期間での効果の評価が多かった。そのため処方強度が低い場合は、その効果が疑問視された^{7, 28-32)}。厚生労働省の健康づくりのための運動所要量検討会の指針^{33, 34)}でも処方期間については触れられていない。

本研究では、60 %HRmaxの低レベルの運動処方³⁵⁾においても、形態、体脂肪、呼吸循環器系機能および生体の励起化現象に運動処方効果が認められた。

この要因として上げられるものは、処方期間に加えて個人の有酸素性能力に応じた相対値による処方を行ったことである。VO₂-HR関係式を3か月ごとに算出した結果、6か月経過

時点で、同一 HR 水準に対し相対的に VO_2 は減少を示した。このことから、相対値によって運動処方を行う場合は、定期検査により処方強度の調整が必要であるこれまでの研究を支持した。本研究での $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ は初期値に対し、12 か月間経過で平均 13.5 %増加を示した。この値は他の 70 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ 以上の強度での報告³⁶⁻⁴⁰⁾と比較しても、同程度の増加率となっている。この $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ の増加は、加齢に伴う減少³³⁾を考慮し、60 %HR(低レベルでも 70 %(中レベル)と同様の効果が得られた。

運動処方の強度と時間や頻度に関しては、高木ら⁴¹⁾は、70 %HRmax ならば 20~30 分程度の持続時間が適当としている。90 %HRmax ならば 10~15 分、70 %HRmax 以下ならば 45 分以上の持続時間が必要としている。処方頻度については、最適頻度は種々の条件により変わる。Gettman et al.⁴²⁾は 1 週間当たり 2~5 回が適性頻度としている。Jackson et al.⁴³⁾は、週に 1~5 日の頻度群について種々のテストを併用し効果を評価した。その結果、週 3 日の頻度は週 5 日と同程度に有益であるという結論を導いた。Tozawa et al.⁴⁴⁾や Shephard⁷⁾も処方時間と頻度との組み合わせで効果の評価を行い、いずれの条件も週当たり 3 回以上の頻度で有益な処方効果を示している。しかしこれらの評価は強度と時間及び頻度の要素に関するものであり、処方期間に関する報告は数少ない。

有酸素的作業能の改善の要因は、Yoshitake et al.⁴⁵⁾が論じているように、種々の生理的機能の改善を指摘している。本研究では、 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ の増加に伴い O_2pulse の有意な増加が認められた。このことから心拍出量と動静脈酸素較差の増大が推定される⁴⁶⁾。運動処方による $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 増加の過程で、運動時の心拍出量と動静脈酸素較差のかかわり合いの程度が異なることが知られている⁴⁷⁾。処方初期における $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ の増加は、主に心拍出量の増加に依存し、さらに処方を継続すると徐々に動静脈酸素較差に依存する度合いが高まる。処方による心拍出量の増加は、 VO_2 の限界因子である 1 回拍出量の増加に負うところが大きい。さらに 1 回拍出量の増加は心臓容積の増加によると推定される⁴⁸⁾。もうひとつの処方による影響は、心臓の迷走神経の高まりによる HRrest の低下である。本研究では、HRmax および HRrest のいずれも変化は認められなかった。Kinoshita et al.⁴⁹⁾は、運動に対する血圧の上昇について検討し総血液量、循環血漿量の低下による体液量の減少が、血圧の上昇率を減少させたと考察している。その他、運動効果のひとつである下肢の活動筋の毛細血管の増加により循環血液量が減少し、収縮期血圧の昇圧幅の減少⁵⁰⁾が認められたとする報告がみられる。また、収縮期血圧の有意な低下は、末梢血管弾性の向上、あるいは末梢血管床の増加によるものと考えられる。低強度の処方であっても、長期間にわたる運動の影響は、これらのメカニズムが関与していることが推察される。

体重、体脂肪および BMI は、6 か月経過後より有意な低下を示した。Ohta et al.⁵¹⁾は、60 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ の強度が活動のエネルギー源として脂肪組織由来の脂質の関与の割合が多いことを理由に、肥満治療に有効であると述べている。しかし、本研究の場合、低強度で脂肪組織が減少するためには、少なくとも 6 か月間以上の長期の継続的処方の実践が必要であることが示唆された。

バイオフィトンによる生体内エネルギーの活性に関しては、GDV の特性を理解する必要がある。GDV は、電磁生体物性技術を応用して、生体の電子反応を分析することで生体エネルギーの変化を動的に観察して数量化し、評価する量子物理学的検証方法である。

生体の電子反応とは、GDV 撮影時に誘発される電子で、生体の場合は表皮や真皮内の複合タンパク質の分子内に非局在化した「励起電子」を意味する。物質においてもこの励起電子が増えることはエネルギー状態が高くなったことを意味する。GDV 技術は、物質や生体を電磁界において発光させエネルギーの程度を評価するものである。発光は、生体の励起状態にある電子に関係するとされている。この励起状態にある電子は、生体内エネルギーの基とされる ATP や活性酸素と深い関係性があるとされている。GDV から分析された心身状態の評価は、体のホリスティックな健康指標のひとつと考えることができる。主に Area と Intensity を基本的な評価指標とし、得られた指標は、環境や心身の状態などを考慮に入れて、解釈をする必要がある。Area の物理的解釈では、フォトンの持つエネルギーに関係し、functional reserve energy と定義され、保有する機能エネルギーと訳される。

通常心身の正常な機能状態の高さと比例して、快適な睡眠をとるとバイオフィトンが上昇し発光面積が大きくなる。Hacker et al.¹⁵⁾は、最初の意識の瞬間から早朝までの GDV 野外指数（9：25～12：25）と唾液から測定された生化学的指標との間にも有意な相関関係があることを示唆した。日常生活における疲労度を反映する唾液の s-IgA とバイオフィトンパラメータのエネルギー指標 Area、Intensity との間に有意な ($p<0.05$) 相関関係があることを Tsubouchi et al.⁵²⁾が報告した。生体のエネルギー状態が向上し、全身の健康状態を物理学的手法によって証明することを可能にしたと考えられる。

T 群から得られた Area のパラメータは、6 か月の終わりに有意に増加し、その後 12 か月の終わりまで有意に増加した。誘導された光子は、保持された生体内エネルギーを指すものである。Intensity のパラメータは、T 群は 6 か月の終わりから NT 群に比較して有意な増加を示し、この増加はその後 12 か月の終わりまで観察された。誘発された光子の Intensity のパラメータは、光強度が増加するにつれて光子の数が増加することを示した。

光子の増加はエネルギー保持の増加によるものと考えられた。

さらに、Area と Intensity の 2 つのパラメータは、Daily total energy consumption、 VO_{2max} 、 O_{2pules} 、 $O_{2removal}$ など有意な相関を認め、GDV によって測定された誘導光子は、生体内のエネルギー活性状態をホールボディとして捉えて評価ができる新規の物理学的測定法として有用性が期待出来る。

第5節【結 論】

日常生活において健康長寿実現に効果的な運動処方確立するため、健康な成人男性 30 名を対象に、低強度での運動処方を 12 か月間継続的に実施した。本研究においては、運動処方による生体への効果を生理学的パラメータおよび物理学的方法によるバイオフィオンのパラメータから評価を行った。その結果、以下のような知見を得た。低強度の運動処方であっても、1 日の消費エネルギー量は、経時的に増加し 3 か月間で有意な増加が認められた。推定 60 %HRmax に相当する低強度の運動処方は、1 日当たり約 300kcal の余剰エネルギーをもたらし、僅かな消費エネルギーの積み重ねでも、日常生活での継続によって、健康の維持につながる事が明らかとなった。長期間の運動処方の実践により体重、体脂肪および BMI 値は、初期値に比べ 6 か月間経過時で有意な減少が認められた。また、運動負荷直後の収縮期血圧の有意な低下が認められた。 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 、 O_2pulse および $\text{O}_2\text{removal}$ については、運動処方開始 9 か月間経過時より有意な増加が認められ、呼吸循環器の改善が可能となる事が明らかとなった。バイオフィオンによる Area および Intensity のパラメータのいずれも運動処方開始 6 か月間経過時で有意な増加を示し、 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 、 O_2pulse 、 $\text{O}_2\text{removal}$ と Area、Intensity との間に有意な相関が見られた。以上のことから、生体内エネルギーの活性化をバイオフィオンという物理学的方法によって評価することが可能となった。また、低強度で長期間におよぶ運動処方は、バイオフィオンの変化から、体内の励起化による自由電子の増加に伴う体内エネルギーが高まったことを意味するものであり、体内の励起状態は、Physical fitness を高めると考えられる。すなわち、GDV によるバイオフィオンの生体内エネルギーの計測は、健康保持増進、Quality of Life 実現のため、自らがセルフコンディショニングを行うための重要な生体情報として考えられた。

－第 7 章－

総合考察

人口減少社会を迎えた我が国において、労働力不足への対応としての「働き方改革」の背景には、長時間労働の是正、多様な働き方の実現があり、働く人々のメンタルヘルスをいかにして維持向上させるかが重要視されている。グローバル社会、情報化社会へと人間の生活環境が多様に変化していく現代社会においては、生活における強い不安や悩みなどのストレスから「心身」のバランスが崩れ、慢性的な疲労疾患、心身症など精神のおよび社会的な生活機能が低下し、さまざまな健康疾患を引き起こすことが問題となっている。ストレスに伴う心身の不調は、小学生から高齢者に至る多くの年齢階層で報告されており、これらへの対応が喫緊の課題として指摘されている。

ストレスに起因する心身の疾患を予防するためには、生体をホールボディとしてとらえ客観的に生体情報を把握することが重要視されている。これまでに生体のストレス状態を把握する方法はいくつか報告されているが、大きく主観的評価と客観的評価の2つに分けることができる。主観的評価としては、心理面に着目した質問紙を用いた方法がある。一方、客観的評価には血液や尿、唾液中の成分を分析する生化学的手法や生体信号を使った生理学的手法がある。生体信号を使った評価には、人間の自律神経の活動度をあらわす心拍変動指標や呼吸活動、発汗による皮膚電気活動などを用いた手法があり、種々の調査研究で活用されている。いずれの評価方法も、実用性に優れ多くの研究成果が報告されている¹⁾。

近年、生体のストレスを客観的、かつ簡易にバイオフィトン（生命活動に伴い放出される光子エネルギー：bio photon）としてとらえる方法として、GDV（Gas Discharge Visualization：気体放電撮影機）による測定法が開発されている²⁾。岡部ら³⁾によれば、ストレスがさまざまな過程を経て活性酸素種の増加をもたらし、細胞レベルでその状態が続くと、ストレス応答遺伝子の発現によって適応が進み、ストレス状態からの脱却とともに活性酸素種の生成と消去のバランスも回復し、消去されずに残存する活性酸素種の量も減少すると報告している。しかしながら、適応できないほど強いストレス下では、各種生理機能の不全が抗酸化機構の障害へと発展し、その結果大量の活性酸素種が発生する。このような活性酸素種は生体分子と反応し、特に細胞膜の不飽和脂肪酸で酸化の連鎖を発生させ、その比較的大きな反応エネルギーは近赤外から可視・紫外の波長の光、バイオフィトンとして放出される。量子生物学や量子情報科学の進歩により、光子によるエネルギー要素（物理経路）については、生命の新しい理解をもたらす可能性が含まれると指摘されているが、この微弱な光と生体の相互作用を生体光情報としてとらえ、その意味についての解明が期待される場所である。その一方で、日本においてはバイオフィトンイメージングによる生体反応の研究は緒についたばかりであり研究報告は数少ない。

本研究では、人々にとってより望ましい生活環境、社会環境の創出を目的として、生体に発生する疲労やストレスの程度をバイオフィトンイメージングにより明らかにし、新たな視点から健康管理、健康支援や身体的环境適応能の評価について検討した。

「研究 1： バイオフィトンからみた生体内エネルギーの日内変動」

【目的】

生体情報の物理学的指標のバイオフィトン、生理学的指標の唾液中の分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、心電図、酸素摂取量、消費カロリーを指標として、生体内のエネルギー変動に日内変動が及ぼす影響について検討した。

【方法】

研究参加者は、医学的に健康と評価される成人男性 25 名とした。調査検討項目は、物理学的指標としてバイオフィトン、生理学的指標として唾液中の分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、心電図、酸素摂取量、消費カロリーを選択した。各種検査は、1 日 7 回（9 時・11 時・13 時・15 時・17 時・19 時・21 時）行った。バイオフィトンは GDV によりエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて生体エネルギー量を示す Area と Intensity を分析した。疲労を示す分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。消費エネルギーの算出は、運動負荷検査から得られた VO_2 -HR 関係式と活動中の心拍数により総酸素摂取量を算出したのち、総消費エネルギー量を算出した。

【結果】

研究参加者の身体活動レベルは、独立行政法人 国立健康・栄養研究所による日本人のふつう（Ⅱ）であることが明らかとなった。バイオフィトンのエネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、同一個体において、生理的指標と時間経過とともに増減を示し三峰性の変動を示した。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、同様に三峰性を示しながら変動していることが明らかになった。覚醒後の初期値に対して、12 時間経過後の平均値では、エネルギーフィールド指標の Area は、9 時と比較して 21 時に有意な減少 ($p<0.05$) が認められた。エネルギーフィールド指標の Intensity は、9 時と比較して 21 時に有意な減少 ($p<0.05$) が認められた。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、9 時と比較して 21 時に有意な減少 ($p<0.05$) が認められた。バイオフィトンパラメータのエネルギー指標について Area と分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間には有意な ($p<0.05$) 相関関係が認められた。また、バイオフィトンパラメータのエネルギー指標 Intensity について、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間には有意な ($p<0.05$) 相関関係が認められたことよりエネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、覚醒時日内変動の数値に疲労やストレスが反映されていることが認められた。

【考察】

検証において指標とした分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、日内変動を示すことが明らかとなり、他の生理学的指標とも有意な相関を示すことが示唆された。一方バイオフィトンイメージングと人体の疲労レベルにも一定の日内変動が認められた。Area および Intensity との間には有意な相関関係が認められた。覚醒時におけるエネルギーフィールド指標の Area および Intensity の数値は、疲労度を反映していることが明らかとなった。

【結論】

バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、労働環境の変化により働く人たちが抱える問題に対するケア、心の健康増進と維持、メンタルヘルス不調の予防対策として、新たな視点からの健康状態の評価法として期待される。

「研究 2：バイオフィトンからみる運動時の生体内エネルギーに関する研究」

【目的】

生体情報のバイオフィトンを指標として、運動負荷を与えることにより生体内のエネルギー変動がバイオフィトンに及ぼす影響について検討した。

【方法】

健康な成人男性 25 名を研究参加者とし、運動負荷によるエネルギー変動を検証した。調査検討項目として、バイオフィトン、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、POMS (Profile of Mood States) を選択した。運動負荷はトレッドミルによる 70 %HRmax レベルのランニングを 1 時間行い、運動負荷の前後で各種調査項目値を比較検討した。バイオフィトンは GDV によりエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトを用いて Area と Intensity を分析した。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。運動負荷による心理的な変動は、POMS (Profile of Mood States) 検査により評価した。

【結果】

研究参加者全員の平均 70 %HRmax 運動負荷時の心拍数は、平均 157.8 ± 16.5 beats/min であった。エネルギーフィールド指標の Area と Intensity の平均値は、運動負荷前と比較して有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率は、運動負荷前と比較して有意な減少 ($p < 0.01$) が認められた。POMS において、運動負荷前と比較して怒り因子は有意な ($p < 0.01$) 減少を示し、疲労因子は有意な ($p < 0.05$) 増加を示した。Area および Intensity と分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間にそれぞれ有意な ($p < 0.05$) 相関関係が認められた。

【考察】

運動負荷による Area と Intensity の数値は、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率、POMS 検査と同様の結果が得られたことより疲労やストレスが反映されていることが明らかとなった。また、エネルギーフィールド指標の Area、Intensity は、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率との間に有意な相関関係が認められたことから、運動による人体の疲労レベルを反映していることが明らかとなった。

GDV は、非侵襲的で短時間の測定であり、生体の状態を把握するうえで、容易に多量のデータを蓄積できるという特徴を持っているといえる。従って、バイオフィトンイメージングによる各個人の継続的測定法による変動を一つの指標として加えることで多様化、個別化する健康度分析の新たな指標になりうると考えられる。

【結論】

身体の調子をよい状態に整えるコンディショニングの生体情報として、バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、「健康づくり」のための運動処方作成に重要なものであると期待される。

「研究3：バイオフィトンからみた長期低強度運動処方が体力におよぼす影響に関する研究」

【目的】

健康長寿を実現するためには、栄養、体力、社会の3要因が重要になることが知られている。本研究においては、生きている環境に適応する能力 Physical fitness(体力)に注目し、中高齢者に対して低強度の運動処方を12か月間継続的に実施し、生体情報の物理学的指標のバイオフィトンと従来からの生理学的指標を評価して、運動処方による生体内のエネルギー変動に及ぼす影響について検討した。

【方法】

研究参加者は、40～55歳の健康な中年男性30名とした。日常生活の中で処方に従って運動する Training group (T群) と、積極的な運動を行わない Non training group (NT群) の2群(各15名)に分けた。T群に対する運動処方は、日常生活において週3回の頻度で1日30分間、屋外での歩走行とした。生理学的指標として、分泌型免疫グロブリン s-IgA/蛋白比率を選択し、Enzyme-Linked Immunosorbent Assay により分析した。また、Daily total energy consumption、Weight、%Fat、BMI、 $VO_2/kg/min$ 、 O_2pulse 、 $O_2removal$ および Systolic blood pressure も計測した。物理学的指標としてバイオフィトンを選択し、GDV を用いエネルギーフィールドおよびサイエンティフィックラボラトリーソフトにより Area と Intensity を分析した。消費エネルギーの算出は、運動負荷検査から得られた VO_2-HR 関係式と24時間の心拍数により総酸素摂取量を算出し、総消費エネルギー量を算出した。

【結果】

1日の消費エネルギー量は、経時的に増加し3か月間で有意な ($p<0.05$) 増加が認められた。Weight、%Fat および BMI は、初期値に比べ6か月間経過時で有意な ($p<0.05$) 減少が認められた。また、運動負荷直後の Systolic blood pressure は有意な ($p<0.05$) 低下が認められた。 $VO_2/kg/min$ 、 O_2pulse および $O_2removal$ については、運動処方開始9か月間経過時より有意な ($p<0.05$) 増加が認められた。Area および Intensity は、Daily total energy consumption、 $VO_2/kg/min$ 、 O_2pulse および $O_2removal$ の測定結果と有意な ($p<0.05$) 相関が認められた。

【考察】

Area および Intensity は、Daily total energy consumption、 $VO_2/kg/min$ 、 O_2pulse および $O_2removal$ の測定結果と有意な ($p<0.05$) 相関が認められた。この背景には、生体の電子反応が関与すると考えられる。生体の電子反応とは、表皮や真皮内の複合タンパク質の分子

内に非局在化した「励起電子」を意味する。物質においてもこの励起電子が増えることはエネルギー状態が高くなったことを意味する。 $\text{VO}_2/\text{kg}/\text{min}$ 、 O_2pulse および $\text{O}_2\text{removal}$ は、生体の循環機系機能が活性化したことを示す項目で、Area と Intensity との有意な相関は励起電子の増加に依ることが作用機序として推定される。Daily total energy consumption においても発光量を示す Area と Intensity の有意な相関関係が認められ、このことは励起状態にある電子に関係すると考えられる。この励起状態にある電子は、生体内エネルギーの基とされる ATP や活性酸素と深い関係性があるとされている。すなわち、消費エネルギーの有意な増加は、励起状態にある電子の増加と活性酸素の減少が背景にあることが推測される。

【結論】

運動処方による Physical fitness への効果において、バイオフィトンイメージングによる生体内エネルギーの計測は、健康保持増進、Quality of Life 実現のため、自らセルフコンディショニングを行うための重要な生体情報として期待される。

人間の健康状態を評価する指標として用いられてきたのは、生理学的分野の指標が多く、評価方法としては器官や機能の単独的な数値による評価が使われてきた。本研究では、新たに生体内のエネルギー産生に直接的に関連すると考えられている体内の励起化電子の自由化による生体からの発光現象を捉えることに着目した。人間の健康や Physical fitness という視点では、単一の臓器の機能や筋肉のパワーだけではなく、ホールボディとしてとらえる評価方法が大切であると考えた。その結果、従来から取り上げられている心理学的・生理学的各指標に加えて、バイオフィトンイメージングによる物理学的指標として着目した。このバイオフィトンイメージングによる検出数値が、人間の疲労やストレスといった健康状態や Physical fitness に反映するのかについて検討した。個内変動や運動負荷による反応および長期間の運動処方における効果について、生理学的指標との関連を含めて検討を行った。

Physical fitness という視点は、人間が生きている環境に対する適応性という考え方が含まれており、本来の理念としては、生体が生きていく環境に対して適応力を高めることが基本となっている。この理念を主たる視点とした場合に、生体機能の日内変動や運動負荷による反応そして運動処方による効果が、生きていく環境に対してどのような適応力を示しているのかを考察することがこの研究における主たる目的でもある。

バイオフィトンを数値化する GDV の特徴は、非侵襲に加え、短時間で測定が可能なことから身体への負担が少なく、容易にデータを蓄積できることである。いわば、多くのデータから生体の状態を把握することができ、その特性が示す内容がシンプルであるといえる。従来の生体情報の評価手法に加えて、GDV から導き出されたバイオフィトンイメージングによる変化をひとつの指標とすることで、疲労度やストレス評価、健康維持・増進、疾病予防といった多様化、個別化する健康管理での新しい指標としての可能性を有していると考えられ

る。

本研究では、日内における個体変動、運動負荷における反応、長期間の運動処方における効果についてバイオフィトンイメージングを指標として検討した結果、従来の生体情報評価法の結果との間に有意な相関関係が認められた。このことより、バイオフィトンという物理学的評価法を総合的に活かして疲労やストレスと関連する健康分野、医療分野で生体内エネルギーの変化をホールボディとして捉え評価することが可能となりさまざまな処方、療法作成に対する有用性が示された。さらにバイオフィトンイメージングによって数量化された生体内エネルギー指標を、生体全体のエネルギー状態としてとらえることにより、新たな視点から疲労・ストレス低減対策や身体的环境適応能の評価し得ることが示唆された。

—第8章—

結語

人間の健康状態を評価する指標として用いられてきたのは、生理学的分野の指標が多く、評価方法としては、器官や機能の単独的な数値による評価が使われてきた。本研究では、新たに生体内のエネルギー産生に直接的に関連すると考えられている体内の励起化での電子の自由化による生体からの発光現象を捉えることに着目した。人間の健康や Physical fitness という視点では、単一の臓器の機能や筋肉のパワーだけではなく、ホールボディとしてとらえる評価方法が大切であると考えた。その結果、従来から取り上げられている心理学的・生理学的各指標に加えて GDV による物理学的指標としてのバイオフィトンイメージングに着目した。このバイオフィトンイメージングによる検出数値が、どの程度人間の疲労やストレスといった健康状態や Physical fitness に反映するのか、個内変動、運動負荷、長期間の運動処方が生体におよぼす影響について生理学的指標との関連を含めて検討した。

Physical fitness という視点は、人間が生きている環境に対する適応性という考え方が含まれており、本来の理念としては、生体が生きていく環境に対して適応力を高めることが基本となっている。この理念を主たる視点とした場合に、生体機能の日内変動や運動負荷による反応そして運動処方による効果が、生きていく環境に対してどのような適応力を示しているのかを考察することがこの研究における主たる目的でもある。

本研究では、日内における個体変動、運動負荷における反応、長期間の運動処方における効果についてバイオフィトンイメージングを指標として検討した結果、従来の生体情報評価法の結果との間に有意な相関関係が認められた。このことより、バイオフィトンという物理学的評価法を疲労やストレスと関連する健康分野、医療分野で生体内エネルギーの変化をホールボディとして捉え評価することが可能となり有用性が示された。さらにバイオフィトンイメージングによって数量化された生体内エネルギー指標を、生体全体のエネルギー状態としてとらえることにより、新たな視点から疲労・ストレス低減対策や身体の環境適応能の評価に寄与し得ることが示唆された。

人々にとってより望ましい生活環境、社会環境の創出を目指すにあたり、それら環境に生きる人間の生体を可能な限り健全な状態で保持し増進させることが求められる。これらを実現させるためには、その状態を客観的に可視化し評価することが重要になるが、本研究において明らかにされたバイオフィトンイメージングによるアプローチはこれまでに報告されている各種心理的・生理的指標と合わせて有益な生体情報、生体指標として活用できることが明らかになった。新たな視点からの健康管理、健康支援や身体の環境適応能の評価に寄与するものと思われる。

本学位論文の内容は、下記の3つの学術論文において発表している。

- 1) Tsubouchi S, Uchida H, Yamamoto A, Shimizu N: Fluctuations in Human Bioenergy during the Day as Observed from the Evoked Photon. *Health*, 10, 1107-1119, 2018.
- 2) Tsubouchi S, Uchida H, Yamamoto A, Shimizu N: Evaluation of bioenergy after exercise using evoked photons - Fluctuation of Human bioenergy by exercise - . *Osaka Research Journal of Physical Education*, No.57, pp.43-53, 2019.
- 3) Tsubouchi S, Uchida H, Maeba S, Yamamoto A, Shimizu N: The effects of a long-term low-intensity prescription exercise measured using the evoked photon method. *Japanese Journal of Health, Fitness and Nutrition*, 23(1), 2019 (in press).

—謝 辞—

謝 辞

本論文は、筆者が兵庫県立大学大学院環境人間学研究科人間環境部門専攻博士後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同専攻内田勇人教授には指導教員として本研究の実施の機会を与えて戴き、その遂行にあたってご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。同専攻田路秀樹教授、並びに同専攻吉村美紀教授には副査としてご指導を戴いた。岡山大学・兵庫教育大学大学院鈴木久雄教授には外部審査委員としてご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。

本研究にあたり、大阪府立大学名誉教授清水教永氏にご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。実験にあたりサンクトペテルブルグ大学教授 Korotkov K 氏、株式会社黎明前場慎司氏に資料を提供して戴くとともに有益なご助言を戴いた。ここに感謝の意を表す。

本研究は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）（基盤研究（C）（一般）（25350847））ならびに（17K01789）の助成を受けたものである。

【引用文献】

第1章 序論

- 1) 「新しい時代を拓く心を育てるために」 一次世代を育てる心を失う危機－（中央教育審議会（中間報告））：http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_chukyo/old_chukyo_index/toushin/1309674.htm
- 2) ライフステージに応じた 心身機能の維持・向上：<https://www.pref.chiba.lg.jp/kenzu/iken/2012/documents/3gutaitekishisaku2.pdf>
- 3) Profile of Mood States-Brief Form Japanese Version.
- 4) 横山和仁：日本語版 POMS™短縮版：Lorr M, McNair DM, Heuchert JW P, Droppleman LF. 原著, 金子書房
- 5) McNair DM, Lorr M, Droppleman LF. Manual for the Profile of Mood States. San Diego, CA: Educational and Industrial Test-ing Service, 1971.
- 6) 金久卓也, 深町建：『日本版コーネル・メディカル・インデックス(改訂版)その解説と資料』, 三京房, 1983.
- 7) Derogatis LR, Lipman RS, Covi L.: SCL-90-R: an outpatient psychiatric rating scale-preliminary report. Psychopharmacol Bull, 973, 9 :13-28. 1973.
- 8) 中根英雄：新規精神的ストレス指標としての唾液中クロモグラニン A(72K), 豊田中央研究所 R & D レビュー, 34(3):17, 1999. ith individual ethological profile. Neurosci, Biobehav, 27:179-188, 2003.
- 9) Anfossi L, Tozzi C, Giovannoli C, Baggiani C, Giraudi G : Development of a non-competitive immunoassay for cortisol and its application to the analysis of saliva. Anal. Chim. Acta, 468 : 315-321, 2002.
- 10) 水野康文, 山口昌樹, 吉田 博：唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか, Yamaha Motor Technical Review, 2002.
- 11) Enberg N, Alho H, Loimaranta V, Lenander Lu-mikari M : Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 92 : 292, 2001.
- 12) Selye H: A syndrome produced by diverse noxious agents. Nature, 138:32, 1936.
- 13) Korotkov K, Human Energy Field, Backbone Publishing Co. Fair Lawn. USA. 2002.
- 14) Beloussov L V, Life of Alexander G. Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields. With additional commentary by John M, Opitz and Scott F Gilbert, Int J Dev Biol, 41:771-779, 1997.
- 15) Korotkov K: Main steps of the diagnostic process with the gas discharge isualization (GDV) technique; in Taylor R (ed): Aura and Consciousness: New Stage of Scientific Understanding, ed 2. St. Petersburg Division of the Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit Kultura' ,

- Petersburg, 58-83, 1999.
- 16) Korotkov K: Stability and reproducibility of GDV parameters. Aura and consciousness. New stage of scientific understanding. St. Petersburg Division of Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit, 'Kultura' , 84-108, 1999.
 - 17) Dobson Paul and O' Keffe Elena. Investigations into Stress and its Management using the Gas Discharge Visualisation Technique. International J of Alternative and Complementary Medicine, 12-17, 2000.
 - 18) Russo M, Choudhri AF, Whitworth G, Weinberg AD, Bickel W, Oz MC: Quantitative analysis of reproducible changes in high-voltage electrophotography. J Altern Complement Med, 7: 617-631, 2001.
 - 19) Bundzen PV, Korotkov K, Unestahl LE: Altered states of consciousness: review of experimental data obtained with a multiple techniques approach. J Altern Complement Med, 8: 153-165, 2002.
 - 20) Korotkov K, Popechitelev EP: Method for gas discharge visualization and automation of the system of realizing it in clinical practice. Med Tekh, 21-25, 2002.
 - 21) Korotkov K: GDV in medicine 2002: application of the GDV bioelectrography technique in medicine; in Francomano CA, Jonas WB, Chez RA (eds): Proceedings: Measuring the Human Energy Field State of the Science. Corona del Mar, CA, Samueli Institute, 9-22, 2002.
 - 22) Korotkov K, Donlina MY, Bascom R: Appendix: translation of Russian documents related to GDV; in Francomano CA, Jonas WB (eds): Proceedings: Measuring the Human Energy Field. State of the science. Corona del Mar, CA, Samueli Institute, 90-156, 2002.
 - 23) Rizzo-Roberts N: Gaseous discharge visualization (GDV) bioelectrography: an overview; in Francomano CA, Jonas WB, Chez RA (eds): Proceedings: Measuring the Human Energy Field: State of the Science. Corona del Mar, CA, Samueli Institute, 23-30, 2002.
 - 24) Giacomoni P, Hayes M, Korotkov K, Krinzhanovsky E, Matravers P, Momoh K. S, Peterson P, Shaath N, Vainselboim A: Study of cultural aspects of cosmetology using the dynamic gas discharge visualisation technique // Proceedings of the International Congress Science, Information, Spirit, St. Petersburg, 95, 2003.
 - 25) Dobson P, O' Keefe E: Research into the efficacy of the gas discharge visualisation technique as a measure of physical and mental health.

<http://www.kirlian.org/gdvresearch/experiments/paulelena/refhtml> 2004.

- 26) Duerden T: An aura of confusion Part 2: the aided eye - 'imaging the aura?'
Complement Ther Nurs Midwifery, 10:116-123, 2004.
- 27) Vainselboim A, Hayes M, Momoh KS, Corporation A, Minnesota B and Korotkov K.
Observing the behavioral response of human hair to a specific external stimulus
using dynamic gas discharge visualisation. J. Cosmet.Sci, 55(Supplement): S91-
S104, 2004.
- 28) Korotkov K, Williams B, Wisneski LA: Assessing biophysical energy transfer
mechanisms in living systems: the basis of life processes. J Altern Complement
Med, 10: 49-57, 2004.
- 29) Owens J, Van De Castle R: Gas discharge visualization (GDV) technique; in
Korotkov K (ed): Measuring Energy Fields State of the Science. Fair Lawn,
NJ, Backbone, 11-22, 2004.
- 30) Korotkov K. Experimental Study of Consciousness Mechanisms with the GDV
Bioelectrography. In: Science of Whole Person Healing, Vol.2, Rustum Roy
(Ed), New York, Lincoln, Shanghai, 152-184, 2004.
- 31) Kostyuk N, Rajnarayanan RV, Isokpehi RD, Cohly HH: Autism from a Biometric
Perspective. Int J Environ Res Public Health, 7:1984-1995, 2010.
- 32) Inaba H, Shimizu Y: Study on information about living system By biophoton.
Tohoku University Press, Sendai. Japan. 2011.
- 33) Okabe H, Kai S: Biophoton, Biochemical Reaction and Bio-Information.
Kogaku, 39(7): 326-333, 2010.
- 34) Kobayashi M, Kikuchi D, Okamura H: Imaging of ultraweak spontaneous photon
emission from human body displaying diurnal rhythm, PLoS One. 2009 Jul 16;4(7):
e6256. doi: 10.1371/journal.pone.0006256.
- 35) Kobayashi M: Highly sensitive imaging for ultra-weak photon emission from
living organisms, J Photochem Photobiol B. 2014 Oct 5; 139:34-8. doi:
10.1016/j.jphotobiol.2013.11.011. Epub 2013 Dec 1.

第2章 研究の背景

- 1) Cannon WB: Stresses and strains of homeostasis, Am J Med Sci, 189 : 1-14, 1935.
- 2) Selye H :A Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents, Nature, 138:32, 1936.
- 3) 田中正敏, 河野友信, 石川俊男編集 :セリエのストレス理論; ストレスの事典,
朝倉書店, 10:21-23, 2005.
- 4) 清水徹男. 睡眠障害の心身への影響. 日本臨牀; 71(suppl 5):51-56, 2013
- 5) Hofer-Tinguely G, Achermann P, Landolt HP, Regel SJ, Retey JV, Durr R, Borbely

- AA, Gottselig JM. Sleep inertia: performance changes after sleep, rest and active waking. *Brain Res Cogn Brain Res.*;22(3): 323-31, 2005.
- 6) Belenky G, Wesensten NJ, Thorne DR, Thomas ML, Sing HC, Redmond DP, Russo MB, Balkin TJ. Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *J Sleep Res*;12:1-12, 2003
 - 7) Wever RA: The circadian system of man. Results of experiments under temporal isolation. New York: Springer-Verlag, 1979.
 - 8) Gray JA. 八木欽治訳「ストレスと脳」朝倉書店, Pp. 470, 1991 ISBN-13: 978-4254101133.
 - 9) Profile of Mood States-Brief Form Japanese Version
 - 10) 横山和仁: 日本語版 POMS™短縮版: Lorr M, McNair DM, Heuchert JWP, Droppleman LF 原著, 金子書房
 - 11) 横山和仁: POMS 短縮版手引と事例解説, 金子書房, 2005.
 - 12) McNair DM, Lorr M, Droppleman LF. Manual for the Profile of Mood States. San Diego, CA: Educational and Industrial Test-ing Service, 1971.
 - 13) 金久卓也, 深町建: “日本版コーネル・メディカル・インデックス(改訂版)その解説と資料”, 三京房, 1983.
 - 14) 尾和久, 高石 穰. 日本語版 SCL-90-R の信頼性と妥当性. メンタルヘルス岡本記念財団研究助成報告集, 6:167-9, 1995.
 - 15) Derogatis LR, Lipman RS, Covi L : SCL-90-R: an outpatient psychiatric rating scale. *Psychopharmacol Bull*, 973, 9 :13-28. 1973.
 - 16) Derogatis LR SCL -90- R: administration, scoring and procedures, Manual II for the R (revised) Version and other Instruments of the Psychopathology Rating Scale Series, Baltimore : Clinical Psychometric research, 1-6, 1983.
 - 17) 中根英雄: 新規精神的ストレス指標としての唾液中クロモグラニン A(72K), 豊田中央研究所 R & D レビュー, 34(3) : 17, 1999.
 - 18) Morgan CA 3rd, Rasmusson AM, Wang S, Hoyt G, Hauger RL, Hazlett G : Neuropeptide-Y, cortisol, and subjective distress in humans exposed to acute stress, Replication and extension of previous report, *Biol Psychiatry*, 52(2) : 136-42, 2002.
 - 19) Seedat S, Stein MB, Kennedy CM, Hauger RL: Plasma cortisol and neuropeptide Y in female victims of intimate partner violence, *Psychoneuroendocrinology*, 28 : 796-808, 2003.
 - 20) Vedhara K, Miles J, Bennett P, Plummer S, Tallon D, Brooks E, Gale L, Munnoch K, Schreiber Kounine C, Fowler C, Lightman S, Sammon A, Rayter Z, Farndon J: An investigation into the relationship between salivary cortisol,

- stress, anxiety and depression. *Biol. Psychol*, 62 : 89-96, 2003.
- 21) Chiu SK, Collier CP, Lark AFC, Wynn Ed wards K.E: Salivary cortisol on ROCHE Elecsys immunoassay system: pilot biological variation studies. *Clin. Biochem*, 36 : 211-214, 2003.
 - 22) Yehuda R, Halligan SL, Yang RK, Guo LS, Makot- kine I, Singh B, Pickholtz D: Relationship between 24-hour urinary-free cortisol excretion and salivary cortisol levels sampled from awakening to bedtime in healthy subjects. *Life Sci*, 73 : 349-358, 2003.
 - 23) Jönsson BAG, Malmberg B, Amilon Å, Garde AH, Ørbaek P : Determination of cortisol in human saliva using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. B*, 784 : 63-68, 2003.
 - 24) Sgoifo A, Braglia F, Costoli T, Musso E, Meerlo P, Ceresini G, Troisi A : Cardiac autonomic reactivity and salivary cortisol in men and women exposed to social stressors: relationship with individual ethological profile, *Neurosci, Biobehav*, 27 : 179-188, 2003.
 - 25) Anfossi L, Tozzi C, Giovannoli C, Baggiani C, Giraudi G : Development of a non-competitive immunoassay for cortisol and its application to the analysis of saliva. *Anal. Chim. Acta*, 468 : 315-321, 2002.
 - 26) Rao LV, Petersen JR, Bissell MG, Okorodudu AO, Mohammad AA: Development of a urinary free cortisol assay using solid-phase extraction capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. B* 730 : 123-128, 1999.
 - 27) 水野康文, 山口昌樹, 吉田 博 : 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか, *Yamaha Motor Technical Review*, 2002.
 - 28) Enberg N, Alho H, Loimaranta V, Lenander Lu-mikari M : *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 92 : 292, 2001.
 - 29) Konstantin K, Berney W: Assessing Biophysical Energy Transfer Mechanisms in Living Systems: The Basis of Life Processes. *Journal of Alternative and complementary medicine*, 10, number 10, 49-57, 2004.
 - 30) Dobson P; O 'Keefe, E. The efficacy of the gas discharge visualisation technique as a measure of physical and mental health *Computer-Based Medical Systems* , 455 - 457, 2005.
 - 31) 稲場文男, 清水慶昭 : 生物フォトンによる生体情報の探究 , 東北大学出版会, 2011.
 - 32) 稲場文男: 生物フォトン, *BME (日本 ME 学会雑誌)* , Vol. 1, 628-635, 1987.
 - 33) 稲場文男: 生物フォトンの超微弱発光計測, *病態生理*, Vol. 9, 101-110, 1990.
 - 34) 小林正樹, 稲場文男: 極微弱生物フォトン発光による生体計測, *臨床検査*, Vol. 35, No. 6 : 610-615, 1991.

- 35) 藤正 巖:医用オプトエレクトロニクスの未来技術, BME, Vol. 8, No. 5 : 1-9, 1994.
- 36) Inaba H:New bio-information from ultraweak photon emission in life and biological activities Biophoton, Modern Radio Science 1990, ed. J.B. Andersen (Oxford Univ. Press, Oxford), 163-184, 1990.
- 37) Alexander G: For a review and bibliography, see Hollander and Claus, J. Opt. Soc. Am, 25 : 270-286, 1935.
- 38) Beloussov L V:Life of Alexander G. Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields. With additional commentary by John M. Opitz and Scott F. Gilbert, Int J Dev Biol, 41 : 771-779, 1997.
- 39) Popp FA, Nagl W, LiKH, Scholz W, Weingärtner O. Wolf R:Biopoton emission Volume 6, Issue 1 : 33-52, March, 1984.
- 40) Popp FA, Gurwitsch AA, Inaba H, Slawinski J, Cilento G et al. :Biophoton emission (multiauthor review), Experientia (Basel), 44 : 543-600, 1988.
- 41) Jiin-Ju Chang, Joachim Fisch:Fritz-Albert Popp. Biophotons Springer Science & Business Media Pp. 414, 2013. ISBN9401709289, 9789401709286.
- 42) Hollingdale RJ: Waste Books Georg Christoph Lichtenberg, The New York Review of Books, Pp. 235, 2000. ISBN 0-940322-50-1
- 43) Lichtenberg GChr:über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen (Lichtenbergsche Figuren), Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, No. 246, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1956.
- 44) Lichtenberg GChr, Schriften und Briefe, 4 Vols., Hanser, München, 1975.
- 45) http://www.naturaldesign.jp/modules/gdv/index.php?content_id=1
- 46) 稲場文男:科学技術振興機構, 戦略的創造研究推進事業, 稲葉生物フォトンプロジェクト, https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/isf_PJ.html, 1991.
- 47) 岡部弘高, 甲斐 昌一. バイオフォトンと生体情報計測, 光学, 39(7) : 326-333, 2010.
- 48) Kobayashi M, Takeda M, Sato T, Yamazaki Y, Kaneko K, Ito K, Kato H And Inaba H:In vivo imaging of spontaneous ultraweak photon emission from a rat's brain correlated with cerebral energy metabolism and oxidative stress. Neurosc. Res. 34 : 103-113, 1999.
- 49) RVan Wijk. Biophoton emission, stress and disease. Experientia, 48 : 1029-1030, 1992.
- 50) Hacker GW, Pawlak E, Pauser G, Tichy G, Jell H, Posch G, Kraibacher G, Aigner A and Hutter J: Biomedical Evidence of Influence of Geopathic Zones on the Human Body, Scientifically Traceable Effects and Ways of Harmonization, Forsch Komplementarmed Klass Naturheilkd, 315-327, 2005.

- 51) Bundzen P, Korotkov K, Unestahl L :Altered States of Consciousness: Review of Experimental Data Obtained with a Multiple Techniques Approach. The Journal of Alternative and Complementary Medicine, Vol. 8, No. 2 : 153 - 165, 2002.
- 52) Korotkov K: Experimental Study of Consciousness Mechanisms with the GDV Bioelectrography. In: Science of Whole Person Healing, Vol. 2, Rustum Roy (Ed), New York, Lincoln, Shanghai, 152-184, 2004.
- 53) <http://ktispb.ru/en/index.htm>
- 54) Rubik B: Scientific analysis of the human aura. In Korotkov K(ed): Measuring Enagy Fields:Current Research-Backbone Publishing Co., Fair Lawn, USA, 157-170, 2004.
- 55) Bell IR, Lewis DA 2nd, Brooks AJ, Lewis SE, Schwartz GE :Gas discharge visualization evaluation of ultramolecular doses of homeopathic medicines under blinded, controlled conditions, The Journal of alternative and complementary medicine, Vol. 9 , No. 1 : 25-38, 2003.
- 56) 小林正樹, 他:生体酸化ストレス非侵襲画像計測技術の研究, 平成 25 年度～平成 27 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 研究成果報告書, Pp. 184, 2016.
- 57) 小林正樹, 稲場文男:光子統計と光子相関 -光子放出の時空間相関分析・統計解析とその他の光電子計測法-, OPTRONICS, Vol. 14, 110-117, 1995.
- 58) Dobson Paul and O' Keffe Elena:Investigations into Stress and it' s Management using the Gas Discharge Visualisation Technique. International J of Alternative and Complementary Medicine, 2000.
- 59) Alex Vainshelboim, M Hayes, KS Momoh, Konstantin G Korotkov : Aveda Corporation, Blaine Minnesota, USA:Observing the behavioral response of human hair to a specific external stimulus using dynamic gas discharge visualisation. J. Cosmet, Sci. 55(Supplement), S91-S104, 2004.
- 60) Pehek JO, Kyler HJ, Faust DL :Image modulation in Corona Discharge Photography. Science, 194 : 263-270, 1976.

第3章 検査方法

- 1) Korotkov K : Human Energy Field Study with GDV Bioelectrography. Backbone Publishing Co., Fair Lawn, USA, Pp348, 2002.
- 2) Korotkov K : Measuring Energy Fields : State of the Science. Backbone Publishing Co., Fair Lawn, USA, Pp278, 2004.
- 3) 秋本崇之, 他. 高強度トレーニングによる安静唾液中分泌型 IgA の変動, 体力科学, 47, 245-252, 1998.
- 4) MicKechne AA et al: Anxiety states: A preliminary report on the value of

- connective tissue massage. J Psychol Res, 27(1), 25-129, 1983.
- 5) 中田靖子, 他. 体負担度評価指標としての唾液分泌型 IgA の基礎的研究, 医学報告, 40(2), 27-35, 2000.
 - 6) 酒井貫充, 山田博, 高須賀三郎, 中島一郎, 赤坂守人. Enzyme immunoassay 法によるヒト唾液中の s-IgA に関する基礎的研究—小児と成人の s-IgA 濃度, s-IgA/総蛋白質比率の比較—, 小児歯科学雑誌 24 : 483-404, 1986.
 - 7) McNair DM, Lorr M & Droppelman LF : Manual for the profile of mood states. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service, Pp27, 1971.
 - 8) 横山和仁. POMS 短縮版, 手引と事例解説, 金子書房, Pp. 116, 2005.
 - 9) 坪内伸司, 白藤一郎, 浜口雅行, 眞来省二, 松浦義昌, 清水教永. HR-V02 関係式から算出した消費エネルギー量の検討, 大阪体育学研究, 第 23 号, 40-45, 1985.
 - 10) Tsubouchi S, Makoro S, Hamaguchi M, Matsuura Y and Shimizu N: study on estimation of energy consumption par day through heart rate, Osaka Research Journal of Physical Education. No. 24 : 30-38, 1986.
 - 11) 山本高司, 北川 薫, 坪内伸司, 管嶋康浩, 朝比奈一男. 小学生男子(11 歳)の一日の消費エネルギー量, 体育科学, 11 : 63~68, 1983.
 - 12) 山本高司, 北川 薫, 坪内伸司, 管嶋康浩, 朝比奈一男. 小学生女子(11 歳)の一日の消費エネルギー量, 体育科学, 12 : 39~44, 1984.
 - 13) 出村慎一, 佐藤進, 山次俊介, 長澤吉則 Excel により統計解析入門 杏林書院, Pp395, 2009.

第 4 章 研究 1 「バイオフィトンからみた生体内エネルギーの日内変動」

- 1) Foster GM and Anderson BG (1978) Medical Anthoropology, John Wiley & Sons, Inc.
- 2) Kleitman N: Sleep and Wakefulness. Chicago: University of Chicago Press, 1939.
- 3) Moore RY and Eichler VB: Loss of a Circadian Adrenal Corticosterone Rhythm Following Suprachiasmatic Lesions in the Rat. Brain Research, 42, 201-206, 1972. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(72\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(72)90054-6)
- 4) Stephan F.K and Zucker I: Circadian Rhythms in Drinking Behavior and Locomotor Activity of Rats Are Eliminated by Hypothalamic Lesions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 69, 1583-1586, 1972 <https://doi.org/10.1073/pnas.69.6.1583>
- 5) Korotkov K: Human Energy Field Study with GDV Bioelectrography. Backbone Publishing Co., Fair Lawn, USA, 2002.
- 6) Korotkov K: Main steps of the diagnostic process with the gas discharge isualization (GDV) technique; in Taylor R (ed): Aura and Consciousness: New Stage of Scientific Understanding, ed 2. St. Petersburg Division of the

- Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit
'Kultura', Petersburg, 58-83, 1999.
- 7) Korotkov K: Stability and reproducibility of GDV parameters. Aura and consciousness. New stage of scientific understanding. St. Petersburg Division of Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit, 84-108, 1999.
 - 8) Dobson Paul and O' Keffe Elena: Investigations into Stress and its Management using the Gas Discharge Visualisation Technique. International J of Alternative and Complementary Medicine, 12-17, 2000.
 - 9) Russo M, Choudhri AF, Whitworth G, Weinberg AD, Bickel W, Oz MC: Quantitative analysis of reproducible changes in high-voltage electrophotography. J Altern Complement Med, 7: 617-627, 2001.
 - 10) Korotkov K, Popechitelev EP: Method for gas discharge visualization and automation of the system of realizing it in clinical practice. Med Tekh, 21-25, 2002.
 - 11) Korotkov K. Experimental Study of Consciousness Mechanisms with the GDV Bioelectrography. In: Science of Whole Person Healing, Vol. 2, Rustum Roy (Ed), New York, Lincoln, Shanghai, 152-184, 2004.
 - 12) https://translate.google.co.jp/translate?hl=ja&sl=en&u=http://ktispb.ru/en/news_archive.htm&prev=search
 - 13) Akimoto T, Akama T, Koda Y et al.: Effects of repetitious intense exercise training on resting salivary IgA. The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 47: 245-252, 1998.
 - 14) McKechnie A A et al.: Anxiety states: A preliminary report on the value of connective tissue massage. J Psychol Res, 27(1): 125-129, 1983.
 - 15) Nakata Y, Iijima S, Maruyama S et al.: Levels of Salivary Secretory Immunoglobulin A as a Workload Indicator. Jpn J Aml Reports, 40(2): 27-35, 2000.
 - 16) Sakai K, Yamada H, Takasu S et al.: The Study on the Secretory IgA of Human Saliva by the Enzyme immunoassay. The Japanese Journal of Pediatric Dentistry, 24: 483-404, 1986.
 - 17) Tsubouchi S, Shirafuji I, Hamaguchi M et al.: Calculating the energy expenditure by HR-VO₂ method. Osaka Research Journal of Physical Education, 23: 40-45, 1985.
 - 18) Tsubouchi S, Makoro S, Hamaguchi M et al.: A study on estimation of energy consumption per day through heart rate, Osaka Research Journal of Physical Education, 24: 30-38, 1986.
 - 19) Mairan De: Observation botanique. Hist. Acad. Roy. Sci, 35, 1729.

- 20) Richter C. P, Wang G. H et al.: New apparatus for measuring the spontaneous motility of animals. J. Lab. Clin. Med, 12: 289-292, 1926.
- 21) Fukazawa T, Tochiara Y : Evaluation of Local and Whole Body Thermal Comfort Sensations Using Salivary Amylase Activity and Cortisol. Descende Sports Science, 1 (30): 87-95, 2009.
- 22) Izawa S, Shiotsuki K, Sugaya N et al.: The Application of Saliva to an Assessment of Stress: Procedures for Collecting and Analyzing Saliva and Characteristics of salivary Substances. Japanese Journal of Complementary and Alternative Medicine, 4(3):91-101, 2007.
- 23) Rohleder N, Nater UM, Wolf JM, Ehler U, Kirschbaum C: Psychosocial stress-induced activation of salivary alpha-amylase: An indicator of sympathetic activity? Ann NY Acad Sci, 1032:258-263, 2004.
- 24) Rantonen PJ, Meurman JH: Correlations between total protein, lysozyme, immunoglobulins, amylase, and albumin in stimulated whole saliva during daytime. Acta Odontol Scand, 58:160-165, 2000.
- 25) Deinzer R, Kleindam C, Stiller-Winkler R, Idel H, Blachg D: Prolonged reduction of salivary immunoglobulin A (sIgA) after a major academic exam. Int J Psychophysiol, 37:219-232, 2000.
- 26) Hacker GW, Augner Chr, Pauser G: Daytime-related rhythmicity of gas discharge visualization (GDV) parameter glow image area: Time course and comparison to biochemical parameters measured in saliva. Buchkapitel, auf Einladung durch Prof. Konstantin Korotkov (Hrsg.), im Druck für "Energy Fields", St. Petersburg University Press, Rußland, 14 Seiten, 2011.
- 27) Korotkov K, Williams B, Wisneski LA: Assessing Biophysical Energy Transfer Mechanisms in Living Systems: The Basis of Life Processes. Journal of Alternative and complementary medicine, 10, 49-57 2004

第5章 研究2「バイオフィトンからみる運動時の生体内エネルギーに関する研究」

- 1) Alexander Gurwitsch: For a review and bibliography, see Hollander and Claus, J. Opt. Soc. Am. 25: 270-286, 1935.
- 2) Belousov LV: Life of Alexander G: Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields. With additional commentary by John M. Opitz and Scott F. Gilbert, Int J Dev Biol. 41:771-779, 1997.
- 3) Inaba H, Shimizu Y : Study on information about living system by biophoton. Tohoku University Press, Sendai, Japan. 2011.
- 4) Korotkov K: Main steps of the diagnostic process with the gas discharge

- isualization (GDV) technique; in Taylor R (ed): Aura and Consciousness: New Stage of Scientific Understanding, ed 2. St. Petersburg Division of the Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit 'Kultura', Petersburg, 58-83, 1999.
- 5) Korotkov K: Stability and reproducibility of GDV parameters. Aura and consciousness. New stage of scientific understanding. St. Petersburg Division of Russian Ministry of Culture, State Editing and Publishing Unit, 84-108, 1999.
 - 6) Dobson Paul and O' Keffe Elena. Investigations into Stress and its Management using the Gas Discharge Visualisation Technique. International J of Alternative and Complementary Medicine, 12-17, 2000.
 - 7) Russo M, Choudhri AF, Whitworth G, Weinberg AD, Bickel W, Oz MC: Quantitative analysis of reproducible changes in high-voltage electrophotography. J Altern Complement Med, 7: 617-631, 2001.
 - 8) Korotkov K, Popechitelev E: Method for gas discharge visualization and automation of the system of realizing it in clinical practice. Med Tekh, 21-25, 2002.
 - 9) Korotkov K: Experimental Study of Consciousness Mechanisms with the GDV Bioelectrography. In: Science of Whole Person Healing, Vol. 2, Rustum Roy (Ed), New York, Lincoln, Shanghai, 152-184, 2004.
 - 10) Rubik B: Scientific analysis of the human aura. In Korotkov K (ed): Measuring Energy Fields State of the Science, Fair Lawn, USA, 157-170, 2004.
 - 11) Kostyuk N, Rajnarayanan RV, Isokpehi RD, Cohly HH: Autism from a Biometric Perspective. Int J Environ Res Public Health, 7: 1984-1995, 2010.
 - 12) http://ktispb.ru/en/news_archive.htm, https://translate.google.co.jp/translate?hl=ja&sl=en&u=http://ktispb.ru/en/news_archive.htm&prev=search
 - 13) Yamaji K: Science of heart rate. Taisyukan Publishing Co., Ltd. Japan. 1981.
 - 14) Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A Handbook for Physician. New York: American heart Association, 1972.
 - 15) American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and Flexibility in healthy adults. Med Sci Sports Exerc. 30:975-991, 1998.
 - 16) Akimoto T, Akama T, Koda Y et al.: Effects of repetitious intense exercise training on resting salivary IGA. J Phys Fit Sports Med, 47:245-252, 1998.

- 17) McKechnie AA, Wilson F, Watson N et al.:Anxiety states: A preliminary report on the value of connective tissue massage. *J Psychosom Res*, 27(2): 125-129, 1983.
- 18) Nakata Y, Iijima S, Maruyama S et al.:Levels of Salivary Secretory Immunoglobulin A as a Workload Indicator. *JASDF AML Reports*, 40(2):27-35, 2000.
- 19) Sakai K, Yamada H, Takasu S et al.:The Study on the Secretory IgA of Human Saliva by the Enzyme immunoassay. *The Japanese Journal of Pediatric Dentistry* 24:483-404, 1986.
- 20) M Lorr, DM McNair, JWP Heuchert et al. :Profile of Mood States-BriefForm Japanese Version, kanekoshobo. Japan. 2015.
- 21) Yokoyama K. POMS abbreviated version, manual and case explanation. kanekoshobo. Japan. 2015.
- 22) McNaIr D M, Lon M & Droppelman L F. Manual for the profile of mood states. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service. 1971.
- 23) Linde F. Running and upper respiratory tract infections. *Scand J Sports Sci* 9:2, 1-23, 1987.
- 24) Mackinnon LT, Ginn EM, Seymour GJ : Temporal relationship between decreased salivary IgA and upper respiratory tract infection in elite athletes, *Aust J Sci Med Sport*, 25:94-99, 1993.
- 25) Nieman DC, Johanssen LM, Lee JW , et al.:Infectious eposodes in runners Before and after the Los Angeles Marathon. *J Sports Med Phys Fitness*, 30:316-328, 1990.
- 26) Peters EM : Exercise, immunology and upper respiratory tract infections. *Int J Sports Med*, 1:S69-S77, 1977.
- 27) Selye H: A Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*, 138: 32, 1936.
- 28) Michio I. Physiology of physical exercise, Tokyo: Kyorin Seoin 1973.
- 29) Roscoe AH: Heart rate monitoring of pilots during steep-gradient Approaches. *Aviat Space Environ Med.* 46(11) : 1410-1413, 1975.
- 30) BK. Bootsma, AJ Hoelen, J Strackee et al. :Analysis of R-R intervals in patients with atrial fibrillation at rest and during exercise, *Circulation* 41, 783-794, 1970.
- 31) Tsubouchi S, Shirafuji I, Hamaguchi M et al.: Calculating the energy expenditure bu HR-Vo2 method. *Osaka Research Journal of Physical Education* 23:40-45, 1985.
- 32) Tsubouchi S, Makoro S, Hamaguchi M et al.:A study on estimation of energy consumption per day through heart rate. *Osaka Research Journal of Physical Education* 24:30-38, 1986.

- 33) Mestecky J: Saliva as a manifestation of a common mucosal immune system. *Ann NY Acad Sci*, 694:184-194, 1993.
- 34) Hucklebridge F, Lambert S, Clow A et al.: Modulation of secretory immunoglobulin A in saliva: response to manipulation of mood. *Biol Psychol*, 53:25-35, 2000.
- 35) Kashima S, Hagiwara K, Shimonagata S et al.: Stress biomarkers response to mental stress in pre- and Post-exercise. *Bulletin of the Faculty of Education, Chiba University*, 54:263-270, 2006.
- 36) Rantonen PJ, Meurman JH. :Correlations between total protein, lysozyme, immunoglobulins, amylase, and albumin in stimulated whole saliva during daytime. *Acta Odontol Scand* 58:160-165, 2000.
- 37) Deinzer R, Kleineidam C, Stiller-Winkler R et al.: Prolonged reduction of salivary immunoglobulin A (sIgA) after a major academic exam. *Int J Psychophysiol* 37:219-232, 2000.
- 38) Rohleder N, Nater UM, Wolf JM et al.: Psychosocial stress-induced activation of salivary alpha-amylase. An indicator of sympathetic activity? *Ann NY Acad Sci* 1032:258-263, 2004.
- 39) Izawa S, Shiotsuki K, Sugaya N et al.: The Application of Saliva to an Assessment of Stress: Procedures for Collecting and Analyzing Saliva and Characteristics of Salivary Substances. *Japanese Journal of Complementary and Alternative Medicine* 4(3):91-101, 2007.
- 40) Fukazawa T, Tochiwara Y et al.: Evaluation of Local and Whole Body Thermal Comfort Sensations Using Salivary Amylase Activity and Cortisol. *Descence Sports Science*. 1 (30):87-95, 2009.
- 41) Hacker GW, Augner Chr, Pauser G :Daytime-related rhythmicity of gas discharge visualization (GDV) parameter glow image area: Time course and comparison to biochemical parameters measured in saliva. Korotkov K, ed. *Energy Fields: Electrophotonic Analysis in Humans and Nature*. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 14, 2011.
- 42) Akimoto T, Akama T, Sugiura K et al.: Alteration of local immunity in the oral cavity after endurance running. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. 47:53-62, 1998.
- 43) Akimoto T, Akama T, Koda Y et al.: Effects of repetitious intense exercise training on resting salivary IgA. *J Phys Fit Sports Med* 47:245-252, 1998.
- 44) Shimizu K, Kimura F, Akimoto T et al.: Effect of free-living daily physical activity on salivary secretory IgA in elderly. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39:593-598, 2007.

- 45) Pate RR, Pratt M, Blair NS et al.: Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Diseases Control and Prevention and the American College of Sports Medicine, JAMA, 273:402-407, 1995.

第6章 研究3 「バイオフィトンからみた長期低強度運動処方が体力におよぼす影響に関する研究」

- 1) MacNeil B, Hoffman-Goetz L: Chronic exercise enhances in vivo and in vitro cytotoxic mechanisms of natural immunity in mice. J. Appl. Physiol. 74(1): 388-395, 1993.
- 2) Marsh GD et al.: Metabolic adaptations to endurance training in older individuals. Canadian Journal of Applied Physiology, 18(4):366-378, 1993.
- 3) A ACSM. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Sixth Edition, 2000.
- 4) Sato T, Demura S, Murase T, Kobayashi Y: Quantification of relationship between health status and physical fitness in middle-aged and elderly males and females. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 45, 561-569, 2005.
- 5) Ebashi H, Shibayama H, Kuchiki T: Effects of aerobic training on the physiological properties in two middle-aged men: Longitudinal study for 30 years, Toua Journal of Human Science, Vol. 6, 45-58, 2006.
- 6) Oida T: Device and System to Increase Physical Activity, J. natl. Inst. Public Health, 58 (1), 25-19, 2009.
- 7) Shephard RJ: Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. Int. Z. angew. Physiol, 26: 272-278, 1968.
- 8) Sato T, Demura S, Murase T: Changes in physical fitness of middle-aged and elderly women by participation in a long-term exercise program, Japan Journal of Test and Measurement of Physical Education and Sports, vol.10, 33-39, 2010.
- 9) Korotkov K: Human Energy Field: study with GDV bioelectrography. Fair Lawn, USA: Backbone Publishing Co., 2000.
- 10) Cioca G, Korotkov K, Giacomoni PU, Rein G and Korotkova A: Effects of exposure to electromagnetic fields from computer monitors on the corona discharge from skin. In: Korotkov K, ed. Measuring Energy Fields: State-Of-The-Science. Fair Lawn, NJ: Backbone., 183-192, 2004.
- 11) Korotkov K: GDV in medicine application of the GDV bioelectrography technique in medicine. In: Francomano CA, Jonas WB, Chez RA, eds. Proceedings: Measuring the Human Energy Field: State of the Science. Corona del Mar, CA: Samueli

Institute., 9-22, 2002.

- 12) Korotkov K, Donlina MY and Bascom R. Appendix: translation of Russian documents related to GDV. In: Francomano CA, Jonas WB, eds.: Proceedings: Measuring the Human Energy Field: State of the science. Corona del Mar, CA: Samueli Institute., 90-156, 2002.
- 13) Rizzo-Roberts N: GDV description and discussion of safety issues. In: Korotkov K, ed. Measuring Energy Fields: State-Of-The-Science. Fair Lawn, NJ: Backbone, 23-28, 2004.
- 14) Augner C, Hacker GW, Schwarzenbacher S, Pauser G: Gas Discharge Visualization (GDV). Eine auf physikalischen Methoden und Meridiananalysen basierende Technik zur Untersuchung von Stressreaktionen und energetischen Schwachstellen - Zwischenbericht laufender Forschung.
(Gas discharge visualization (GDV): a technique based on physical methods and meridian analyses to detect stress reactions and energetic weaknesses - report of ongoing research) Dt Ztschr f Akup 53, 14-20, 2010.
- 15) Hacker GW, Augner Chr and Pauser G: Daytime-related rhythmicity of gas discharge visualization (GDV) parameter glow image area: Time course and comparison to biochemical parameters measured in saliva. Buchkapitel, auf Einladung durch Prof. Konstantin Korotkov (Hrsg.), im Druck für "Energy Fields", St. Petersburg University Press, Rußland., 14 Seiten, 2002.
- 16) Dobson P, O' Keefe E: Investigations into stress and its management using the gas discharge visualization technique. J Altern Complement Med, 12-17, 2002.
- 17) Pehek JO, Kyler KJ and Faust DL: Image modulation in Corona Discharge Photography. Science, 194, 263-270, 1976.
- 18) Giacomoni P, Hayes M, Korotkov K, Krinzhanovsky E, Matravers P, Momoh K. S, Peterson P, Shaath N, Vainselboim A : Study of cultural Aspects of cosmetology using the dynamic gas discharge visualization technique // Proceedings of the International Congress Science, Information, Spirit, St. Petersburg, 95, 2003.
- 19) Alex Vainshelboim, M. Hayes and K. S. Momoh : Aveda Corporation, Blaine. Minnesota and Konstantin Korotkov. Observing the behavioral response of human hair to a specific external stimulus using dynamic gas discharge visualisation. J. Cosmet, ci. 55 (Supplement), S91-S104, 2004.
- 20) 東京都立大学体育学研究室: 日本人の体力標準値第四版, 不昧堂, 東京, 1989.
- 21) Tsubouchi S, Shirafuji I, Hamaguchi M et al.: Calculating the energy expenditure from HR-Vo2 method. Osaka Research Journal of Physical Education., 23, 40-45. 1985.

- 22) Tsubouchi S, Makoro S, Hamaguchi M et al.: A study on estimation of energy consumption per day through heart rate. Osaka Research Journal of Physical Education., 24, 30-38. 1986.
- 23) Yamaji K: Science of heart rate. Tsisyukan Publishing Co., Ltd .Japan. 1981.
- 24) Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A Handbook for Physician. New York: American heart Assosiation ;1972.
- 25) Karvonen MJ, Kentala E et al.: The effects of training on heart rate. Ann Med Exp Biol Fenn, 35, 307-315, 1957.
- 26) American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness and flexibility in healthy adults. Med Sci Sports Exerc. 30: 975-91. 1998.
- 27) http://www.naturaldesign.jp/modules/gdv/index.php?content_id=1
- 28) Han I, Mukaimoto T, Ueda H, Kiyota H, Ohno M: effects of intermittent bouts of aerobic exercise on oxygen consumption during and after exercise, NSSU Journal of Sport Sciences, Vol.1, 1-7, 2012.
- 29) American College of Sports Medicine: ACSM' s Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 8th edition. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 152—182, 2009.
- 30) Morikawa M, Okazaki K, Masuki S, Kamijo Y, Yamazaki T, Gen-no H & Nose H: Physical fitness and indices of lifestyle-related diseases before and after interval walking training in middle-aged and older males and females. Br J Sports Med 45: 216—224, 2011.
- 31) Nose H, Morikawa M, Yamazaki T, Nemoto K, Okazaki K, Masuki S, Kamijo Y & Gen-no H: Beyond epidemiology: field studies and the physiology laboratory as the whole world. J Physiol (Lond) 587:5569—5575, 2009.
- 32) Dill, D.B.: Effects of physical strain and high altitudes on the heart rate and circulation. Am, Heart J., 23: 441-454, 1942.
- 33) 菱田 明, 佐々木 敏: 「日本人の食事摂取基準」 (2015 年版) 第一出版株式会社. 東京. 59-74. 2014.
- 34) 厚生労働省: 「健康づくりのための身体活動基準 2013」 及び「健康づくりのための身体活動指針 (アクティブガイド)」
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple.html>. 2013.
- 35) 相原正彦, 露木和夫, 赤池 真, 二宮健次, 張 光哲, 鵜養恭介, 海老根東雄: 冠状動脈疾患における低強度運動療法効果の検討, 体力科学, 43: 211-218, 1994.
- 36) Han I, Mukaimoto T, Ueda H, Kiyota H, Ohno M: Effects of intermittent bouts

- of aerobic exercise on oxygen consumption during and after exercise, NSSU Journal of Sport Sciences, Vol.1, 1-7, 2012
- 37) Takagi D, Nishida Y, Tamaki T, Komagata J: Effects of Low-Intensity Exercise on Hypertension, Bulletin of Health Science University, Vol.10, 59-66, 2013.
 - 38) Cress ME et al.: Effect of training on VO_2max , thigh Strength, and muscle morphology in Septuagenarian women. Med. Sci. Sports Exerc., 23: 752-758, 1991.
 - 39) 久埜真由美: 中高年齢男性の健康・体力, 男性のライフステージからみた身体運動と健既 (宮下充正編), 131-142, 杏林書院, 1995.
 - 40) Takeshima N: Cardiorespiratory fitness in older adults, Annual Review Vol. 6, 26-34, 2001.
 - 41) 高木 都, 菅 弘之: 持久力の科学, 杏林書院: 14-52, 1994.
 - 42) Gettman LR et al.: Physiological responses of men to 1, 3 and 5 day per week training programs. Res. Quart, 47: 638-646, 1976.
 - 43) Jackson J. H, Sharkey B. J and Johnston L. P: Cardiorespiratory adaptation training at specific frequencies. Res. Quart., 39(2): 295-300, 1967.
 - 44) Tozawa R, Kawasaki T, Hirano M, Takagi R, Hiiragi Y, Nakamura H: The influence of gait and balance ability due to difference in exercise frequency in middle and elderly people with periodic exercise habits, The Bulletin of Ryotokuji University, Vol.11, 177-182, 2017.
 - 45) Yoshitake Y and Ota T: Effects of Aerobic Exercise on Chronic Non-communicable Diseases, The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics, Vol.50, No.2, 59-68, 1992.
 - 46) Fox EL et al.: Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. J. Appl. Physiol, 38 : 481-484, 1975.
 - 47) Astrand P.-O and Rodahl K: Textbook of work physiology, McGraw-Hill: New York, 1970.
 - 48) Seals DR and Chase PB: Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. J Appl Physiol, 66: 1886-1895, 1989.
 - 49) Kinoshita A et al.: Changes dopamine and atrial natriuretic factor by mild exercise for hypertensives. Clin. Exp. Hypertens., 13(A): 1275-1290, 1991.
 - 50) Rowell L. B: Adjustment to upright posture and blood loss, In Human Circulation Regulation during Physical Stress (:Rowell, L.B. Ed.), 137-173, Oxford Univ. Press, New York, Oxford, 1986.
 - 51) Ohta F, Oshima S, Hirayama M, Suzuki S: Physical Exercise and Caloric Restriction as a treatment of Obesity, The Japanese Society of Nutrition

and Dietetics, Vol. 31, 6 , 230-240, 1973.

- 52) Tsubouchi S, Uchida H, Yamamoto A, Shimizu N :Study on bioenergy of daytime seen from Evoked Photon Health, 1107-1119, 2018.

第7章 総合考察

- 1) 堀輝, 香月あすか, 菅健太郎, 吉村玲児 :客観的なストレス評価方法について, 日本職業・災害医学会誌, 66, 330-334, 2018.
- 2) Korotkov K: Human Energy Field: study with GDV bioelectrography. Fair Lawn: Backbone Publishing Co., 2000.
- 3) 岡部弘高, 甲斐昌一 : バイオフォトンと生体情報計測, 光学 39(7), 326-333, 2010.